电气故障检修

技能直通车



VISIT…

LANZAROTE Caliente.com

电工技能直通车

电气故障检修技能直通车

杨清德　邱绍峰　主　编

電子工業出版社
Publishing House of Electronics Industry
北京·BEIJING

内 容 简 介

本书共 8 章，主要讲述电气故障检修必备的安全知识、检修电气故障常用工具及仪表的使用技巧、电气设备检修管理的知识、室内外电气线路及设备的故障检修、电力变压器的故障检修、常用电动机的故障检修、常用低压电器故障检修和变频器故障检修等内容，基本上可满足读者在相关领域工作中的需要。

本书内容丰富，图文并茂，实用性强，适合电气安装和维修从业人员及相关技术人员阅读，也可作为各类职业院校相关专业师生的参考书。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有，侵权必究。

图书在版编目（CIP）数据

电气故障检修技能直通车/杨清德，邱绍峰主编．—北京：电子工业出版社，2013.5
（电工技能直通车）
ISBN 978-7-121-20225-4
Ⅰ.①电…　Ⅱ.①杨…　②邱…　Ⅲ.①电气设备—故障诊断—基本知识
②电气设备—故障修复—基本知识　Ⅳ.①TM07
中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 081238 号

策划编辑：王敬栋（wangjd@phei.com.cn）
责任编辑：徐　萍
印　　刷：
装　　订：
出版发行：电子工业出版社
　　　　　北京市海淀区万寿路 173 信箱　邮编 100036
开　　本：787×1 092　1/16　　印张：19　字数：486 千字
印　　次：2013 年 5 月第 1 次印刷
印　　数：4 000 册　　定价：48.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题，请向购买书店调换。若书店售缺，请与本社发行部联系，联系及邮购电话：（010）88254888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn，盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线：（010）88258888。

前　　言

电工技能直通车丛书的第一批书（5 本）已于 2011 年 6 月出版，分别为《电工基础技能直通车》、《低压电工技能直通车》、《电工识图直通车》、《家装电工技能直通车》和《物业电工技能直通车》，2012 年 7 月出版的第二批书有 3 本，分别为《电工必识元器件直通车》、《电工典型电路直通车》和《电工仪表及工具直通车》。这次出版的第三批书有 6 本，分别为《电气安装技能直通车》、《电气故障检修技能直通车》、《LED 实用技术直通车》、《家装电工技能直通车（第二版）》、《电工识图直通车（第二版）》和《低压电工技能直通车（第二版）》。

《电工基础技能直通车》——主要讲述直流/交流电路的基础知识、安全用电、电工常用工具和仪表、电工材料、电工基本操作技能、常用电气安装、变压器与电动机、电能测量及计量和营销等内容。

《低压电工技能直通车（第二版）》——主要讲述电工仪表与测量、电工操作基本技能、室内配电线路及电气装置、变压器与低压架空线路及配电装置、常用低压电器、三相异步电动机与控制电路、安全用电技术等内容。

《电工识图直通车（第二版）》——主要讲述电工识图基础、常用电工测量与保护电气图识读、照明工程图识读、工厂供电及常用电气图识读、弱电工程电气图识读、可编程控制器 PLC 梯形图识读等内容。

《家装电工技能直通车（第二版）》——主要讲述家装电工常用工具和仪表使用、家装电工基础知识及工艺要求、家居配电和综合布线系统设计、室内线路安装技能、室内配电装置安装、家居灯具及用电器安装、旧房电路改造和家装电工安全知识等内容。

《物业电工技能直通车》——主要讲述物业电工常用工具与仪表、基本操作技能、电气安全与防雷接地装置的安装、社区供配电、社区量电及配电装置、常用照明设备、住宅小区电话通信系统、社区网络系统、社区电视和广播系统、楼宇对讲安防系统、社区视频监控系统、社区火灾报警系统、社区供电与公共用电设备的管理与维护等内容。

《电工必识元器件直通车》——主要讲述电工元器件的基础知识、电力电子元器件、控制设备中的常用元器件、常用低压配电器件、低压控制器件、低压系统的其他常用器件及辅件、常用高压配电器件等内容。

《电工典型电路直通车》——主要讲述继电器-接触器控制电路、变频器 PLC 控制电路、常用机床电气控制电路、实用照明控制电路、LED 照明驱动与控制电路、建筑设备电气控制电路和工厂电气二次回路等内容。

《电工仪表及工具直通车》——主要讲述指针式万用表的使用、数字式万用表的使用、兆欧表和钳形表的使用、新型电工仪表及使用、常用电工工具及使用和电气安装维修专用工具及使用等内容。

《电气安装技能直通车》——主要讲述电气安装识图基础、常用电工工具、仪表和材料、电工安装的基本技能、变配电装置的安装、电力电缆的加工与敷设、架空电力线路的安装、电气照明工程的安装和建筑弱电系统的安装等内容。

《电气故障检修技能直通车》——主要讲述电气故障检修安全必备知识、电气故障检修常

用工具及仪表、电气设备检修管理、电气线路故障检修、变压器故障检修、电动机故障检修、低压电器故障检修和变频器故障检修等内容。

《LED 实用技术直通车》——主要讲述具有节能环保优势的第四代电光源 LED 的基础知识、驱动方案及电路、LED 室外灯具应用技术、LED 室内灯具应用技术等内容。

本套丛书根据维修电工国家职业标准（初级和中级）和教育部 2009 年颁布的《中等职业学校电工技术基础与技能教学大纲》等国家标准对电工初学者的相关知识及技能要求，紧密结合近年来国内大中型企业对维修电工人员需求的实际情况编写而成。本套丛书从读者的兴趣和认知规律出发，做到实用性和趣味性并重，并采用简洁明快的语言描述，采用图、表释疑解惑，采用口诀帮助记忆，围绕大量的真实工作场景来展开技能训练，以期达到帮助读者真正从根本上掌握电工技能的目的。

本套丛书以电工技能培训为主线，以加油站、中转站、训练场为辅线，每本书对电工基础知识及技能的介绍各有侧重，每本书就是一个大的“公共交通系统”，每个章节就是一个“公交场站”，只要将各个场站摸熟摸透，就能真正熟悉这个大的“公共交通体系”。本套丛书主要以帮助电工初学者上岗为目的，着重介绍快速掌握电工技能的方法和技巧。

加油站——介绍电工执业必需的重点知识、重点技能及技巧，不求高深，只求实用。

中转站——衔接各个章、节的内容，适当拓宽相关章节涉及的知识面，达到既形成熟练的职业技能，又具备一定的适应职业变化能力的目的。

训练场——将实际工作中最常见、最实用的职业技能选为训练项目，进行手把手的技能实训操作与指导。

指点迷津——对关键的疑难问题、技能技巧进行点拨，一看就懂，一试就会。

通过上述片段的穿插，把各个“公交场站”联系起来，将知识点、能力点讲解得更加生动，更加容易理解和掌握。

本书由杨清德、邱绍峰主编，参加编写的还有冉洪俊、杨卓荣、先力、胡萍、黎平、康娅、余明飞、杨丽萍、刘华光、成世兵、乐发明、杨松、沈坤华、赵顺洪等同志。

由于编者水平有限，加之时间仓促，书中难免存在缺点和错误，敬请各位读者批评指正，多提意见，盼赐教至 yqd611@163.com，以期再版时修改。

编　者

引　　子

电是一种客观存在的物质，是一种能做功的能量。电是人类之光，是致富的源泉，是工业的先行官，是农业丰收的保障，是服务业繁荣的催化剂，是整个国民经济腾飞的翅膀。电对现代人来说，不可或缺，衣食住行，甚至娱乐也都一刻离不开电。百业兴旺，电工与时俱进！

欲问电从哪儿来？微观领域寻答案。
电生磁来奥斯特，法拉第的磁生电。
伏特、安培电学家，发明电表大贡献。
欧姆定律天下传，爱迪生的灯用电。
赫兹开启信息化，电波传送无线电。

自从世界有了电，电工应运而出现。
生产生活离不开，百业兴旺全靠电。
当个电工很不错，知识技能是关键。
操作技能要熟练，技能全靠多实践。
规程条例要牢记，纪律制度不违反。

应知应会要掌握，丛书系列来呈现。
基础技能直通车，入门先学直流电。
识图技能直通车，电工语言最方便。
低压电工直通车，安装检修活儿不断。
物业、家装直通车，小康生活新体现。

电路学用直通车，典型电路很全面。
电工元件直通车，介绍通用元器件。
仪表工具直通车，会用才能把钱攒。
电气安装直通车，规范施工保安全。
故障检修直通车，熟能生巧技能全。

丛书作者专家团，电子社里有高见。
共同打造直通车，新老读者看一看。
内容丰富形式新，电工知识较全面。
加油站，训练场，还有技能中转站。
指点迷津及口诀，边读边可练一练。

目　　录

第 1 章　电气故障检修安全必备知识……1
1.1　电工操作安全规范……1
1.1.1　电工安全操作的有关规程……1
加油站 1——电工作业安全的一般规定……1
加油站 2——电工安装作业安全的规定……2
加油站 3——维修作业安全的规定……3
1.1.2　变配电操作安全……4
加油站 1——高压隔离开关操作顺序……4
加油站 2——低压隔离开关操作顺序……4
加油站 3——倒闸操作安全规定……5
1.2　防触电伤害的技术措施……5
1.2.1　电流对人体的伤害……5
加油站——电流对人体危害的因素……6
1.2.2　人体触电方式……7
加油站 1——单相触电……7
加油站 2——两相触电……8
加油站 3——跨步电压触电……8
加油站 4——静电触电和感应电触电……9
1.2.3　防直接接触触电技术措施……10
加油站 1——绝缘措施……10
加油站 2——安全间距措施……11
加油站 3——屏护措施……12
1.2.4　防间接接触触电技术措施……13
加油站 1——保护接地措施……13
加油站 2——保护接零……15
加油站 3——漏电保护器……16
训练场——漏电保护器的选用……16
加油站 4——安全电压……17
1.2.5　触电急救……18
加油站 1——触电急救的三种方式……18
加油站 2——常用触电急救方法……19
1.3　保障电力安全作业的组织措施……21
1.3.1　现场勘察……21
加油站——现场勘察制度……21
1.3.2　工作票……22

加油站 1——工作票制度 22
加油站 2——工作票的种类 22
1.3.3 工作许可制度 23
加油站 1——工作许可制度的主要内容 23
加油站 2——工作许可人的安全职责 23
1.3.4 工作监护制度 23
加油站 1——工作监护制度的内容 23
加油站 2——专责监护人的职责 24
1.3.5 工作间断制度 24
加油站——工作间断制度的内容 24
1.3.6 工作终结和恢复送电制度 24
加油站——工作终结和恢复送电制度的内容 24
1.4 电气防火与灭火 25
1.4.1 电气防火 25
加油站——电气火灾和爆炸的原因 25
1.4.2 电气火灾扑救 26
加油站 1——断电灭火 26
加油站 2——带电灭火 26
训练场——干粉灭火器的使用 27
第 2 章 电气故障检修常用工具和仪表 29
2.1 电工常用检修工具的使用 29
2.1.1 试电笔的使用 29
加油站 1——试电笔的作用及类型 29
加油站 2——螺丝刀式试电笔的结构 30
训练场 1——试电笔判断有无电 31
训练场 2——试电笔区别交、直流电源 32
训练场 3——试电笔判断同相与异相电 33
训练场 4——试电笔判断相线接地法 33
训练场 5——数显感应试电笔的使用 34
2.1.2 电工钳的使用 35
加油站 1——钢丝钳 35
训练场 1——钢丝钳的使用 35
加油站 2——尖嘴钳 36
训练场 2——尖嘴钳的使用 36
加油站 3——剥线钳 37
训练场 3——剥线钳的使用 37
2.1.3 常用旋具的使用 38
加油站 1——螺钉旋具的类型 38

训练场 1——螺钉旋具的使用 ……………………………………………… 39
加油站 2——螺母旋具 ……………………………………………………… 40
训练场 2——活动扳手的使用 ……………………………………………… 42
2.1.4　电工刀的使用 ……………………………………………………… 42
加油站——电工刀介绍 …………………………………………………… 42
训练场——电工刀剥削导线绝缘层 ……………………………………… 43
2.1.5　压接钳的使用 ……………………………………………………… 44
加油站 1——压接钳的作用及类型 ……………………………………… 44
加油站 2——手压式压接钳 ……………………………………………… 44
加油站 3——油压式铝导线压接钳 ……………………………………… 45
训练场 1——手压式压接钳连接铝芯电线（直线连接） ……………… 45
训练场 2——手压式压接钳连接铝芯电线（与接线桩头连接） ……… 46
2.1.6　临时接地线的使用 ………………………………………………… 47
加油站 1——临时接地线的作用 ………………………………………… 47
加油站 2——临时接地线的种类 ………………………………………… 47
加油站 3——临时接地线的基本结构 …………………………………… 47
训练场——临时接地线挂、拆操作 ……………………………………… 48
2.1.7　高压验电器的使用 ………………………………………………… 50
加油站 1——高压验电器的作用 ………………………………………… 50
加油站 2——高压验电器的种类、结构及特点 ………………………… 50
加油站 3——高压验电的技术要求 ……………………………………… 51
加油站 4——使用高压验电器的注意事项 ……………………………… 52
训练场——高压验电操作 ………………………………………………… 53
2.1.8　其他常用电工工具的使用 ………………………………………… 55
加油站——其他常用电工工具操作要点 ………………………………… 55
2.2　电工常用检测仪表的使用 …………………………………………… 57
2.2.1　万用表的使用 ……………………………………………………… 57
加油站 1——万用表的选用 ……………………………………………… 57
加油站 2——认识 MF47 型万用表 ……………………………………… 58
训练场 1——指针式万用表测量电阻 …………………………………… 59
训练场 2——指针式万用表测量交流电压 ……………………………… 61
训练场 3——指针式万用表测量直流电压 ……………………………… 62
训练场 4——指针式万用表测量直流电流 ……………………………… 63
训练场 5——数字万用表测量电阻 ……………………………………… 65
训练场 6——数字万用表测量电流 ……………………………………… 66
训练场 7——数字万用表测量电压 ……………………………………… 66
2.2.2　钳形电流表的使用 ………………………………………………… 68
加油站——钳形电流表的选用 …………………………………………… 68
训练场——钳形电流表测量电流 ………………………………………… 68

2.2.3　兆欧表的使用……70
加油站——兆欧表的选用……70
训练场——兆欧表测量绝缘电阻……70
第3章　电气设备检修管理……74
3.1　电气设备检修原则及方法……74
3.1.1　电气设备检修原则……74
加油站——“十先十后”原则……74
3.1.2　电气故障诊断检修法……75
加油站1——一般电气故障“六诊”法……75
训练场1——“问”法的应用……76
训练场2——“看”法的应用……76
训练场3——“摸”法的应用……77
训练场4——“测”法的应用……77
加油站2——特殊电气故障诊断“八法”……79
训练场5——分析法的应用……80
训练场6——短路法的应用……81
训练场7——断路法的应用……81
训练场8——经验法的应用……81
训练场9——菜单法的应用……82
训练场10——试电笔检查法的应用……83
训练场11——推理法的应用……85
训练场12——图形变换法的应用……85
加油站3——确定故障部位“三先后”法……85
3.2　电气设备检修前的准备工作……88
3.2.1　电气设备检修的分类和意义……88
加油站1——电气设备检修的分类……88
加油站2——电气设备检修的意义……88
3.2.2　电气设备大修前的准备工作……88
加油站——大修前的准备工作……88
3.2.3　电气设备小修前的准备工作……90
加油站——小修前的准备工作……90
3.3　常用电气设备大修、小修周期及检修内容……90
3.3.1　变压器的检修周期及项目……90
加油站1——变压器的检修周期……90
加油站2——变压器的大修项目……90
加油站3——变压器的小修项目……92
加油站4——变压器定期试验项目……92
3.3.2　交流异步电动机的检修周期及项目……93

加油站 1——检修周期 …… 93
加油站 2——三相交流电动机小修项目 …… 93
加油站 3——交流电动机中修项目 …… 93
加油站 4——三相交流电动机大修项目 …… 93
3.3.3　直流电动机的检修周期及项目 …… 94
加油站 1——检修周期 …… 94
加油站 2——小修项目 …… 94
加油站 3——大修项目 …… 94
3.3.4　电力电缆的检修周期及项目 …… 95
加油站 1——小修项目 …… 95
加油站 2——大修项目 …… 95
加油站 3——电力电缆试验项目、周期和要求 …… 96
3.3.5　母线的检修周期及项目 …… 96
加油站 1——检修周期 …… 96
加油站 2——硬母线的大修项目 …… 97
训练场——架空母线的检修 …… 97
3.3.6 10kV　真空断路器的检修周期及项目 …… 97
加油站 1——检修周期 …… 97
加油站 2——大修项目 …… 98
加油站 3——小修项目 …… 98
3.4　电气设备检修管理与验收 …… 99
3.4.1　电气设备检修管理 …… 99
加油站 1——电气设备检修及维护的原则 …… 99
加油站 2——电气设备检修管理制度 …… 99
3.4.2　电气设备检修的三级验收 …… 100
加油站 1——三级验收 …… 100
加油站 2——三级验收的方法 …… 100
第 4 章　电气线路故障检修 …… 103
4.1　照明电路及灯具的检修 …… 103
4.1.1　照明电路故障类型及检修程序 …… 103
加油站 1——照明电路的故障类型及原因 …… 103
加油站 2——照明电路故障检修的一般程序 …… 103
4.1.2　照明电路检修方法 …… 105
训练场 1——短路故障的检修 …… 105
训练场 2——整个线路灯不亮的检修 …… 108
训练场 3——部分照明灯不亮的检修 …… 108
训练场 4——照明灯发光不正常的检修 …… 108
训练场 5——线路漏电故障的检修 …… 110

4.1.3 照明灯具故障诊断与排除 110
训练场 1——白炽灯故障诊断与检修 110
训练场 2——日光灯故障诊断与检修 113
训练场 3——H 形节能灯故障诊断与检修 115
训练场 4——高压汞灯故障诊断与检修 116
训练场 5——碘钨灯故障诊断与检修 118
4.1.4 开关、插头、插座故障的检修 120
训练场 1——开关常见故障的检修 120
训练场 2——插头、插座常见故障的检修 121
4.2 架空线路的检修 122
4.2.1 砼杆基础检修 122
加油站——砼杆基础损坏的类型及修复措施 122
训练场 1——检查杆塔基础 123
训练场 2——基础轻微损坏的修复 123
训练场 3——地脚螺栓折断的修复 124
训练场 4——拉线及拉棒更换 125
4.2.2 砼杆本体检修 125
加油站 1——砼杆的类型及用途 125
加油站 2——砼杆本体主要缺陷及处理 126
训练场——杆塔检查 126
4.2.3 导线损伤的检查与修补 126
加油站 1——引起架空导线损伤的原因 126
加油站 2——导线巡视检修的主要内容 127
加油站 3——导线断股损伤的处理方法 127
训练场 1——导线连续损伤的重接 128
训练场 2——预绞丝修补导线 129
4.2.4 金具和绝缘子串的检修 130
加油站 1——金具检修规范 130
加油站 2——金具及绝缘子检修内容 131
训练场 1——杆塔金具的检修 131
训练场 2——绝缘子的检查与更换 132
4.3 高压电器的检修 133
4.3.1 高压断路器的检修 133
加油站——高压断路器的用途及种类 133
训练场 1——高压断路器的维护 134
训练场 2——SN10-10 型少油断路器的检修 135
训练场 3——真空断路器的检修 137
4.3.2 高压熔断器的检修 138
加油站 1——高压熔断器的用途及种类 138

加油站 2——跌落式熔断器常见故障 139
训练场——跌落式熔断器更换熔丝 139
4.3.3 高压隔离开关的检修 140
加油站——高压隔离开关的功能 140
训练场 1——隔离开关的检修 141
训练场 2——隔离开关导电回路发热的检修 143
4.3.4 高压负荷开关的检修 144
加油站 1——高压负荷开关的作用、结构及种类 144
加油站 2——高压负荷开关的检修项目 144
加油站 3——高压负荷开关检修质量标准 145
训练场——高压负荷开关常见故障检修 145
4.4 电气接地装置的检修 146
4.4.1 电气设备接地技术 146
加油站 1——电气设备接地技术的几个概念 146
加油站 2——低压系统接地的几种方式 147
加油站 3——电气设备的接地方法 148
4.4.2 电气接地装置的检修 148
加油站 1——接地装置定期维护项目 149
加油站 2——运行中的安全检查 149
训练场 1——接地装置常见简单故障的排除 150
训练场 2——零线带电的检修 150
训练场 3——接地点土壤电阻率很高的处理 151
第 5 章 变压器的检修 152
5.1 变压器简介 152
5.1.1 常用变压器种类 152
加油站——常用变压器的种类 152
5.1.2 电力变压器的作用及结构 152
加油站 1——电力变压器的作用 152
加油站 2——变压器的主要部件 153
5.2 电力变压器的检查与维护 154
5.2.1 变压器运行与维护 154
加油站——变压器投入运行前的检查项目 154
5.2.2 电力变压器的检查 155
加油站 1——电力变压器不停电检查 155
加油站 2——变压器停电检查 156
5.3 电力变压器的故障诊断与检修 157
5.3.1 电力变压器的故障诊断 157
加油站——电力变压器故障诊断的必要性 157

训练场 1——变压器本体声音异常的检查与处理 158
训练场 2——冷却器声音异常的检查与处理 158
训练场 3——绝缘受潮异常情况检查与处理 159
训练场 4——过热性异常情况检查与处理 159
训练场 5——放电性异常情况检查与处理 161
训练场 6——绕组变形异常的检查与处理 162
5.3.2 电力变压器的检修 163
加油站 1——造成变压器故障的原因 163
加油站 2——变压器的故障类型 163
加油站 3——变压器故障诊断方法 164
加油站 4——变压器检修的类别 164
加油站 5——变压器短路故障的危害 166
加油站 6——变压器放电故障的危害 166
加油站 7——变压器油质劣化的原因 166
训练场 1——经验法判别变压器油油质的优劣 167
加油站 8——变压器铁芯故障 168
训练场 2——变压器铁芯多点接地故障的检测 168
训练场 3——铁芯多点接地故障的应急处理 169
训练场 4——铁芯多点接地故障吊罩检修 169
5.3.3 变压器组、部件的检修 170
训练场 1——散热器的检修 170
训练场 2——压油式套管的检修 171
训练场 3——充油套管的检修 171
训练场 4——无励磁分接开关的检修 172
训练场 5——吸湿器的检修 172
训练场 6——安全气道的检修 173
训练场 7——阀门及塞子的检修 173
5.3.4 干式变压器的检修 174
加油站 1——干式变压器的结构 174
加油站 2——干式变压器的运行维护 176
训练场——干式变压器常见故障检修 177
第 6 章 电动机故障检修 178
6.1 单相电动机故障检修 178
6.1.1 单相异步电动机典型故障的检修 178
加油站 1——单相异步电动机的故障类型 178
加油站 2——单相异步电动机的检修思路 178
训练场 1——单相异步电动机常见故障排除 178

训练场 2——离心式开关的检修 180
训练场 3——电流型启动继电器的检修 182
训练场 4——PTC 启动继电器的检修 183
6.1.2　单相电动机绕组故障的检修 185
加油站 1——绕组断路故障检查方法 185
训练场 1——绕组断路故障的修复 185
加油站 2——绕组短路的故障原因 186
加油站 3——绕组短路点检查方法 186
训练场 2——绕组短路故障的修复 187
训练场 3——罩极绕组故障的检修 187
训练场 4——绕组接地故障的检修 188
训练场 5——绕组绝缘中度损坏的检修 188
训练场 6——绕组绝缘轻微损坏的检修 188
6.1.3　常见机械故障的检修 189
训练场 1——轴承损坏的判断与修复 189
训练场 2——铁芯表面损伤及修复 189
训练场 3——转轴故障检修 189
6.2　三相异步电动机故障检修 190
6.2.1　三相异步电动机维修项目 190
加油站 1——电动机定期小修项目 190
加油站 2——电动机定期大修项目 190
6.2.2　三相电动机常见故障检修 192
加油站——三相异步电动机的故障类型 192
训练场 1——三相异步电动机常见故障的处理 192
训练场 2——滑环与电刷的常见故障处理 195
6.2.3　三相电动机绕组故障的检修 196
加油站——绕组故障成因及类型 196
训练场 1——定子绕组接地故障的检修 196
训练场 2——定子绕组短路故障的检修 199
训练场 3——定子绕组断路故障的检修 201
6.2.4　三相异步电动机转子故障的处理 202
加油站 1——笼型转子的典型故障 203
训练场 1——转子断条故障的查找 203
训练场 2——转子断条的修复 205
加油站 2——转子铁芯常见故障 206
训练场 3——转子铁芯故障修理 206
6.2.5　轴承的故障处理 206
加油站 1——轴承故障现象及原因 206
训练场——轴承故障的判断 207

加油站 2——轴承故障的修理 207
6.2.6 转轴的故障处理 209
加油站——转轴常见故障类型 209
训练场 1——转轴弯曲的修理 209
训练场 2——转轴断裂的修理 209
训练场 3——轴颈磨损的修复 210
6.2.7 电动机绕组重绕 210
训练场 1——原始数据记录 210
训练场 2——拆除已损坏绕组 211
训练场 3——获取线圈原始数据 211
训练场 4——重绕线圈 212
训练场 5——嵌线与接线 214
训练场 6——浸漆与烘干 216
6.3 小型直流电动机常见故障维修 220
6.3.1 小型直流电动机的运行与维护 220
加油站——直流电动机使用前的检查 220
训练场——直流电动机的日常维护 222
6.3.2 直流电动机常见故障分析与检修 223
加油站——直流电动机常见故障原因 223
训练场 1——直流电动机检修一 225
训练场 2——直流电动机检修二 226
第 7 章 常用低压电器的检修 227
7.1 刀开关的检修 227
7.1.1 刀开关简介 227
加油站 1——刀开关的结构 227
加油站 2——胶盖刀开关的作用 228
加油站 3——铁壳开关的作用 228
7.1.2 铁壳开关的检修 228
训练场 1——铁壳开关的检修 228
训练场 2——胶盖刀开关的检修 229
7.2 低压断路器的检修 229
7.2.1 低压断路器简介 229
加油站 1——低压断路器的作用 229
加油站 2——低压断路器的分类 230
加油站 3——常用低压断路器的结构和功能特点 230
7.2.2 低压断路器的检修 232
训练场 1——低压断路器的检测 232

训练场 2——低压断路器常见故障检修 233
7.3 转换开关的检修 234
7.3.1 转换开关简介 234
加油站 1——转换开关的结构 234
加油站 2——转换开关的作用 235
7.3.2 转换开关的检修 235
训练场 1——转换开关的检测 235
训练场 2——转换开关常见故障检修 236
7.4 低压熔断器的检修 236
7.4.1 低压熔断器简介 236
加油站 1——熔断器的作用 236
加油站 2——常用低压熔断器 237
7.4.2 熔断器的检修 240
训练场 1——熔断器的检测 240
训练场 2——熔断器常见故障检修 240
7.5 交流接触器的检修 241
7.5.1 交流接触器简介 241
加油站 1——接触器的功能 241
加油站 2——接触器的类型 241
加油站 3——交流接触器的结构 242
7.5.2 交流接触器的检修 243
训练场 1——交流接触器的拆装与检修 243
训练场 2——交流接触器常见故障检修 246
7.6 继电器的检修 247
7.6.1 继电器简介 247
加油站 1——继电器的特点及作用 247
加油站 2——继电器的种类 247
7.6.2 常用继电器的检修 248
训练场 1——继电器的测试 248
训练场 2——时间继电器动作时间的检验 249
训练场 3——时间继电器常见故障检修 249
训练场 4——热继电器常见故障检修 249
7.7 主令控制器的检修 251
7.7.1 主令控制器简介 251
加油站 1——主令控制器的作用 251
加油站 2——主令控制器的类型 251
加油站 3——主令控制器的结构 251

7.7.2 主令控制器常见故障检修 252
训练场——主令控制器常见故障分析及检修 252
第 8 章 变频器的检修 253
8.1 变频器的日常维护 253
8.1.1 变频器的检查 253
加油站 1——变频器日常检查项目 253
加油站 2——变频器定期检查项目 254
训练场 1——检查变频器的绝缘电阻 255
训练场 2——变频器的冷态测试 256
训练场 3——变频器的热态测试 258
8.1.2 变频器的易损件更换 258
训练场 1——变频器更换冷却风扇 258
训练场 2——变频器更换滤波电容器 260
训练场 3——继电器、接触器和熔断器的更换 261
8.2 变频器检修基础 261
8.2.1 变频器故障诊断步骤及方法 261
加油站 1——变频器故障诊断的基本步骤 261
加油站 2——变频器故障诊断方法 261
8.2.2 变频器故障诊断流程 262
加油站 1——整流桥损坏诊断流程 262
加油站 2——逆变器损坏诊断流程 262
加油站 3——变频器上电无显示诊断流程 263
加油站 4——P.OFF 故障诊断流程 263
加油站 5——电流检测 ITE 故障诊断流程 264
加油站 6——输入缺相 SPI 故障诊断流程 264
加油站 7——输出缺相 SPO 故障诊断流程 265
加油站 8——变频器过热 OH1、OH2 故障诊断流程 265
加油站 9——电动机过载故障诊断流程 266
加油站 10——变频器过载故障诊断流程 267
加油站 11——电动机自学习故障诊断流程 268
加油站 12——加速运行过电流 OC1 故障诊断流程 268
加油站 13——减速运行过电流 OC2 故障诊断流程 268
加油站 14——恒速过电流 OC3 故障诊断流程 268
加油站 15——加速过电压 OU1 故障诊断流程 269
加油站 16——减速过电压 OU2 故障诊断流程 270
加油站 17——恒速过电压 OU3 故障诊断流程 271
加油站 18——通信故障 CE 诊断流程 271

加油站 19——母线电压低 UV 故障诊断流程 272
8.2.3 变频器维修常用方法及应用 273
加油站 1——报警参数检查法 273
训练场 1——报警参数检查法检修变频器 276
加油站 2——类比检查法 277
训练场 2——类比检查法检修变频器 277
加油站 3——备板置换检查法 278
训练场 3——备板置换检查法检修变频器 278
加油站 4——隔离检查法 278
训练场 4——隔离检查法检修变频器 278
加油站 5——直观检查法 278
训练场 5——直观检查法检修变频器 279
加油站 6——升降温检查法 279
训练场 6——升降温检查法检修变频器 279
加油站 7——破坏检查法 279
训练场 7——破坏检查法检修变频器 280
加油站 8——敲击检查法 280
训练场 8——敲击检查法检修变频器 280
加油站 9——刷洗检查法 280
训练场 9——刷洗检查法检修变频器 280
加油站 10——原理分析检查法 281
8.3 变频器常见故障检修 281
8.3.1 参数设置类故障的检修 281
加油站——变频器参数设置的主要内容 281
训练场——变频器参数设置类故障的处理 282
8.3.2 变频器过压类故障的检修 282
加油站——变频器过压类故障的类型 282
训练场——变频器过压类故障的处理 282
8.3.3 变频器过流类故障的检修 283
加油站——变频器过流类故障的类型 283
训练场——变频器过流类故障的处理 283
8.3.4 变频器过载类故障的检修 284
加油站——变频器过载类故障的类型 284
训练场——变频器过载类故障的处理 284

第 1 章　电气故障检修安全必备知识

1.1　电工操作安全规范

1.1.1　电工安全操作的有关规程

电工操作应严格遵守《低压电力技术规程》、《低压电工安全操作规程》、《电力安全工作规程》等法规，落实安全责任，筑牢安全生产第一防线。下面就上述规程的核心内容进行介绍。

加油站 1——电工作业安全的一般规定

（1）电工属于特种作业人员，必须经当地劳动部门统一考试合格后，核发全国统一的“特种作业人员操作证”，方可上岗作业，并定期两年复审一次。

（2）电工作业必须两人同时作业，一人作业，一人监护。

（3）在全部停电或部分停电的电气线路（设备）上工作时，必须将设备（线路）断开电源，并对可能送电的部分及设备（线路），采取防止突然串电的措施，必要时应进行短路线保护。

（4）检修电气设备（线路）时，应先将电源切断（拉断刀闸，取下保险），把配电箱锁好，并挂上“有人工作，禁止合闸”的警示牌，或派专人看护。

（5）所有绝缘检验工具，应妥善保管，严禁他用，存放在干燥、清洁的工具柜内，并按规定进行定期检查、校验；使用前，必须先检查是否良好后，方可使用。

（6）在带电设备附近作业，严禁使用钢（卷）尺测量有关尺寸。

（7）用锤子打接地电极时，握锤的手禁止戴手套，扶接地极的人应在侧面，应用工具将接地极卡紧、稳住。使用冲击钻、电钻或钎子打砼眼或仰面打眼时，应戴防护镜。

（8）用感应法干燥电箱或变压器时，其外壳应接地。

（9）使用手持电动工具时，机壳应有良好的接地，严禁将外壳接地线和工作零线拧在一起插入插座，必须使用二线带地或三线带地插座。

（10）配线时，必须选用合适的剥线钳口，不得损伤线芯。削线头时，刀口要向外，用力要均匀。

（11）电气设备所用熔断器的额定电流应与其负荷容量相适应，禁止以大代小或用其他金属丝代替熔丝。

（12）工作前必须做好充分准备，由工作负责人根据要求将安全措施及注意事项向全体人员布置，并明确分工。对于患有不适宜工作疾病的人员、请长假复工者、缺乏经验的工人及有思想情绪的人员，不能向其分配重要技术工作和登高作业。

（13）作业人员在工作前不许饮酒，工作中衣着必须整齐，精神集中，禁止擅离职守。

加油站 2——电工安装作业安全的规定

（1）施工现场供电应采用三相五线制系统，所有电气设备的金属外壳及电线管必须与专用保护零线可靠连接，对产生振动的设备其保护零线的连接点不少于两处，保护零线不得装设开关或熔断器。

（2）保护零线应单独敷设，不做它用，除在配电室或配电箱处做接地外，应在线路中间处和终端处做重复接地，并应与保护零线相连接，其接地电阻不大于 10Ω，如图 1-1 所示。

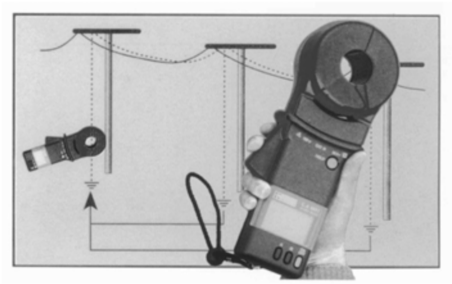


图 1-1　施工现场接地电阻值应不大于 10Ω

（3）保护零线的截面应不小于工作零线的截面，同时必须满足机械强度的要求。保护零线架空敷设的间距大于 12m 时，保护零线必须选择小于 $10mm^2$ 的绝缘铜线或小于 $16mm^2$ 的绝缘铝线。

（4）与电气设备相连接的保护零线应为截面不小于 $2.5mm^2$ 的绝缘多股铜芯线，保护零线的统一标志为绿/黄双色线。在任何情况下，不准用绿/黄线做负荷线。

（5）单相线路的零线截面与相线相同，三相线路的工作零线和保护零线截面不小于相线截面的 50%。

（6）架空线路的挡距不得大于 35m，其线间距离不得小于 0.3m。架空线的相序排列为：面向负荷从左侧起为 L1、N、L2、L3、PE（注：L1、L2、L3 为相线，N 为工作零线，PE 为保护零线）。

（7）在一个架空线路挡距内，每一层架空线的接头数不得超过该层导线条数的 50%，且一条导线只允许有一个接头。线路在跨越铁路、公路、河流、电力线路挡距内不得有接头。

（8）架空线路宜采用砼杆（用钢筋水泥制作而成的杆塔），砼杆不得有露筋、环向裂纹和扭曲。电杆埋设深度宜为杆长的 1/10 加 0.6m，在松软土质处应适当加大埋设深度或采用卡盘等加固。

（9）橡皮电缆架空敷设时，应沿墙壁或电杆高置，并用绝缘子固定，严禁使用金属裸线做绑线，固定点间距应保证橡皮电缆能承受自重所带来的负荷，橡皮电缆的最大弧垂距地不得小于 2.5m。

（10）配电箱、开关箱应装设在干燥、通风及常温场所，箱要防雨、防尘、加锁，门上要有“有电危险”标志，箱内分路开关要标明用途，固定式箱底离地高度应大于 1.3m，小于 1.5m；移动式箱底离地高度应大于 0.6m，小于 1.5m。箱内工作零线和保护零线应分别用接线端子分开敷设，箱内电器和线路安装必须整齐，且每月检修一次，金属后座及外壳必须做保护接零，

箱内不得放置任何杂物。

（11）总配电箱和开关箱中的两级漏电保护器，选择的额定漏电动作电流和额定漏电动作时间应合理匹配，使之具有分级保护的功能，每台用电设备应有各自专用的开关箱，必须实行“一机一闸”制，安装漏电保护器。

（12）配电箱、开关箱中的导线进、出线口应在箱底面，严禁设在箱体的上面、侧面、后面或箱门外。进、出线应加护套分路成束并做防水弯，导线束不得与箱体进、出口直接接触。移动式配电箱和开关箱的进、出线必须采用橡皮绝缘电缆。

（13）每一台电动建筑机械或手持式电动工具的开关箱内，必须装设隔离开关和过负荷、短路、漏电保护装置，其负荷线必须按容量选用无接头的多股铜芯橡皮保护套软电缆或塑料护套软线，导线接头应牢固可靠，绝缘良好。

（14）照明变压器必须使用双绕组型，严禁使用自耦变压器。照明开关必须控制火线，使用行灯时，电源电压不超过 36V。

（15）安装用电设备的电源线时，应先安装用电设备一端，再安装电源一端，拆除时反向进行。

加油站 3——维修作业安全的规定

（1）检修工具、仪器等要经常检查，保持绝缘良好状态，禁止使用不合格的检修工具和仪器。

（2）电机和电器拆除检修后，其线头应及时用绝缘包布包扎好；高压电机和高压电器拆除后，其线头必须短路接地。

（3）在高、低压电气设备线路上工作，必须停电进行，一般禁止带电作业。

（4）停电后的设备及线路在接地线前应用合格的验电器按规定进行验电，确定无电后方允许操作。携带式接电线应为柔软的裸铜线，其截面不小于 $25mm^2$，不应有断股和断裂现象。

（5）接拆地线应由两人进行，一人监护，一人操作，应戴好绝缘手套。接地线时，先接地线端，后接导线端；拆地线时，先拆导线端，后拆地线端。

（6）脚扣、踏板、安全带使用前应检查是否结实可靠，应根据电杆大小选用脚扣、踏板，上杆时跨步应合适，脚扣不应相撞。使用的安全带松紧要合适、系牢，结扣应放在前侧的左右。

（7）登杆作业前，水泥杆应检查外观是否平整、光滑，有无外露钢筋、明显裂纹，杆体有无显著倾斜及下沉现象，原有拉线是否良好。

（8）杆上及地面工作人员均应戴安全帽，并在工作区域内做好监护工作，防止行人、车辆穿越，传递材料应用带绳或系工具袋传递，禁止上下抛掷。

（9）雷雨及 6 级以上大风天气，不可进行杆上作业。

（10）配线时，必须选用合适的剥线钳口，不得损伤线芯。削线头时，刀口要向外，用力要均匀。

（11）现场变（配）电室，应有两人值班。对于小容量的变（配）电室，单人值班时，无论高压设备是否带电，均不准越过检查和从事修理工作。

（12）在高压带电区域内进行部分停电工作时，操作者与带电设备的距离应符合安全规定，运送工具、材料时与带电设备保持一定的安全距离。

指点迷津

电工上岗之前必须通过专业培训并持有特种作业人员操作证。上岗操作时应思想集中。电气线路在未经测电笔确定无电前，应一律视为“有电”，不可用手触摸，不可绝对相信绝缘体，应视为有电操作。各项电气工作要认真严格执行“装得安全、拆得彻底、检查经常、修理及时”的规定。否则，出现如图 1–2 所示漫画的那种情形，关键时刻就麻烦了。

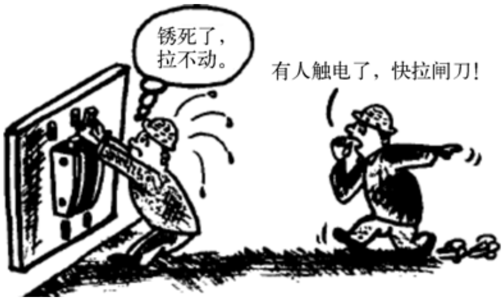


图 1–2　漫画：关键时刻

记 忆 口 诀

规章制度严执行，班前班后讲安全。
只懂理论不算懂，实际操作更重要。
每个电工守规程，工作起来有分寸。
规程本是血写成，学习规程保安全。
任何事情有规范，没有规矩无方圆。
进入现场要安全，戴好帽子系好带。

1.1.2　变配电操作安全

加油站 1——高压隔离开关操作顺序

1）断电操作顺序

（1）断开低压各分路断路器、隔离开关。

（2）断开低压总开关。

（3）断开高压油开关。

（4）断开高压隔离开关。

2）送电操作顺序

送电操作顺序和断电顺序相反。

加油站 2——低压隔离开关操作顺序

1）断电操作顺序

（1）断开低压各分路断路器、隔离开关。

（2）断开低压总开关。

2）送电操作顺序

送电操作顺序与断电相反。

加油站 3——倒闸操作安全规定

电气设备分为运行、备用（冷备用及热备用）、检修三种状态。将设备由一种状态转变为另一种状态的过程叫倒闸，所进行的操作叫倒闸操作。一般通过操作隔离开关、断路器及挂、拆接地线将电气设备从一种状态转换为另一种状态或使系统改变运行方式，即倒闸操作。

倒闸操作必须执行操作票制和工作监护制。

（1）高压双电源用户进行倒闸操作，必须事先与供电局联系，取得同意或接到供电局通知后，按规定时间进行，不得私自随意倒闸。

（2）倒闸操作必须先送合空闲的一路，再停止原来一路，以免用户受影响。

（3）发生故障未查明原因，不得进行倒闸操作。

（4）两个倒闸开关，在每次操作后均应立即上锁，同时挂警告牌。

（5）倒闸操作必须由两人进行（一人操作、一人监护），如图 1-3 所示。



图 1-3　倒闸操作

1.2　防触电伤害的技术措施

1.2.1　电流对人体的伤害

电流通过人体时会产生热量，热量较小时，人体局部组织温度略有升高，但不会影响人体健康。当热量较大时，可使人体温度急剧升高，严重时可损伤人体组织，甚至引起死亡。电流通过人体时，体内还会发生电解、电泳和电渗等化学效应，明显影响人体的功能和反应性。严重时，还能损伤人体组织，危及生命。

另外，电流通过人体时还会刺激人体的组织和器官，反射地引起体内不同区域及不同器官的反应，如使内脏及组织发生功能改变，甚至引起内分泌系统功能的改变，进而影响到血液循环、机体代谢、组织营养状态等。其中，电流的刺激作用对心脏影响最大，常会

引起心室纤维性颤动，导致心跳停止而死亡。大多数触电死亡都是由于心室纤维性颤动而造成的。

归纳起来，电流对人体的伤害一般分为电击伤和电灼伤两种类型，见表 1-1。

表 1-1　电流对人体伤害的类型

伤害类型	说　明	图　示
电击伤	电击伤指电流流过人体时造成的人体内部的伤害，主要破坏人的心脏、肺及神经系统的正常工作。 电击的危险性最大。统计资料表明，大部分触电死亡事故都是由于电击造成的	
电灼伤	电灼伤指电弧对人体外表造成的伤害，主要是局部的热、光效应，轻者造成皮肤灼伤，严重者可深达肌肉、骨骼。常见的有灼伤、烙伤和皮肤金属化等，严重时可危及人的性命	 

记 忆 口 诀

人体为何会触电，是因人体如导线。
加之大地零电位，没有绝缘祸跟随。
电流要向地下跑，如同水往地下流。
近离裸线有危险，接近带电会触电。
电流产生热效应，轻则受伤重要命。
电流伤害有两种，电击伤和电灼伤。

加油站——电流对人体危害的因素

1）电流大小

根据电流通过人体时人体产生的生理反应的不同，可将作用于人体的电流分为感知电流、摆脱电流和致命电流。

（1）感知电流是指引起人体感知的最小电流。人体平均感知电流有效值：女性约为 0.7mA；男性约为 1.1mA。

（2）摆脱电流是人触电后能自行摆脱的最大电流。人体的平均摆脱电流：女性约为 10mA；男性约为 16mA；儿童的摆脱电流较成人小。

（3）致命电流指在短时间内危及生命的最小电流。直流电流在 50mA 以上、工频电流在 30mA 以上的电流为致命电流。

2）电流频率

一般认为，40～60Hz 的交流电对人最危险。随着频率的增加，危险性将降低。当电源频

率大于 20 000Hz 时，所产生的损害明显减小，但高压高频电流对人体仍然是十分危险的。

3）通电时间长短

通电时间越长，人体电阻因出汗等原因而降低，导致通过人体的电流增加，触电的危险性也随之增加，通电时间对人体的影响见表 1-2。引起触电危险的 50Hz 交流电流和通过电流的时间关系可用下式表示

$$I = \frac{165}{\sqrt{t}}$$

式中　I——引起触电危险的电流（mA）；

t——通电时间（s）。

表 1-2　通电时间对人体的影响

电流（mA）		交流电（50Hz）	直　流　电
	通 电 时 间	人 体 反 应	人 体 反 应
0～0.5	连续	无感觉	无感觉
0.5～5	连续	有麻刺、疼痛感，无痉挛	无感觉
5～10	数分钟内	痉挛、剧痛，但可摆脱电源	有针刺、压迫及灼热感
10～30	数分钟内	迅速麻痹，呼吸困难，不能自由活动	压痛、刺痛，灼热强烈，有痉挛
30～50	数秒至数分种	心跳不规则，昏迷、强烈痉挛	感觉强烈，有剧痛、痉挛
5～100	超过 3min	心室颤动，呼吸麻痹，心脏麻痹而停跳	剧痛，强烈痉挛，呼吸困难或死亡

4）电流路径

电流通过头部可使人昏迷；通过脊髓可能导致瘫痪；通过心脏会造成心跳停止，血液循环中断；通过呼吸系统会造成窒息。电流路径与通过人体心脏电流的比例关系见表 1-3。

表 1-3　电流路径与通过人体心脏电流的比例关系

电 流 路 径	左手到脚	右手到脚	左手到右手	左脚到右脚
流经心脏的电流与通过人体总电流的比例（%）	6.4	3.7	3.3	0.4

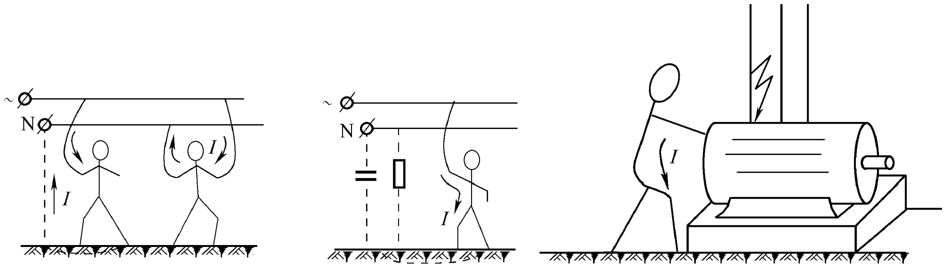
可见，从左手至脚是最危险的电流路径，从右手到脚、从手到手也是很危险的路径，从脚到脚是危险较小的路径。

1.2.2　人体触电方式

根据电流通过人体的路径和触及带电体的方式，一般可将触电分为单相触电、两相触电和跨步电压触电三种方式。

加油站 1——单相触电

人体某一部位与大地接触，另一部位与一相带电体接触所致的触电事故称为单相触电，如图 1-4 所示。



（a）　　（b）　　（c）

图 1-4　单相触电

加油站 2——两相触电

发生触电时，人体的不同部位同时触及两相带电体，称为两相触电。两相触电时，相与相之间以人体作为负载形成回路电流，如图 1-5 所示。此时，流过人体的电流大小完全取决于电流路径和供电电网的电压。

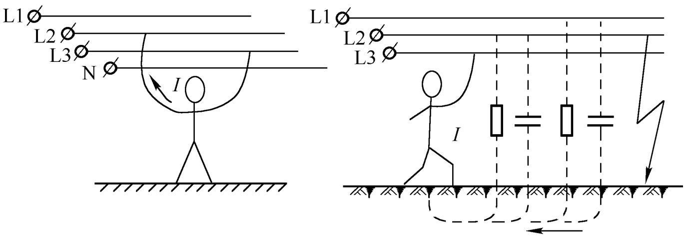


图 1-5　两相触电

加油站 3——跨步电压触电

当输电线出现断线故障，输电线掉落在地时，导致以此电线落地点为圆心，周围地面产生一个相当大的电场，离圆心越近电压越高，离圆心越远则电压越低。在距电线 1m 以内的范围内，约有 68％的电压降；在 2～10m 的范围内，约有 24％的电压降；在 11～20m 的范围内，约有 8％的电压降；因此，离电线 20m 外，对地电压基本为零。



图 1-6　跨步电压触电

当人走进距圆心 10m 以内，双脚迈开时（约 0.8m），势必出现电位差，这就称为跨步电压，如图 1-6 所示。电流从电位高的一脚进入，由电压低的一脚流出，流过人体而使人触电。人体触及跨步电压而造成的触电，称为跨步电压触电。

指点迷津——跨步电压触电的预防

跨步电压触电时，电流仅通过身体下半部及两下肢，基本上不通过人体的重要器官，因此一般不危及人体生命，但人体感觉相当明显。

当发觉有跨步电压威胁时，应立即将双脚并在一起，或尽快用一条腿或两条腿跳着离开危险区 20m 以外。

规程规定：高压设备发生接地时，室内不得接近故障点 4m 以内，室外不得接近故障点 8m 以内。

加油站 4——静电触电和感应电触电

人体触及带有静电的设备会受到电击，导致伤害，称为静电触电。

停电后的电气设备或线路，受到附近有电设备或线路的感应而带电，称为感应电，人体触及带有感应电的设备也会受到电击。

中转站——雷击触电

雷电时发生的触电现象称为雷击触电。

雷电的大小和多少及活动情况，与各个地区的地形、气象条件及所处的纬度有关。一般山地雷电比平原多，沿海地区比大陆腹地要多，建筑物越高，遭雷击的机会越多。

随着微电子技术高度发展及广泛应用到各个领域，使雷害对象也发生了转移，从对建筑物本身的损害转移到对室内电器、电子设备的损害，直至发生人身伤亡事故。人握着电话话筒而受雷击致死的事件时有所闻，原先许多从来不发生雷电灾害的行业和部门也频频受害。这些雷害是人们意料不到的，如图 1-7 所示。

防雷措施主要是在建筑物上安装避雷针、避雷网、避雷带、避雷线、引下线和接地装置，或在金属设备、供电线路上采取接地保护。

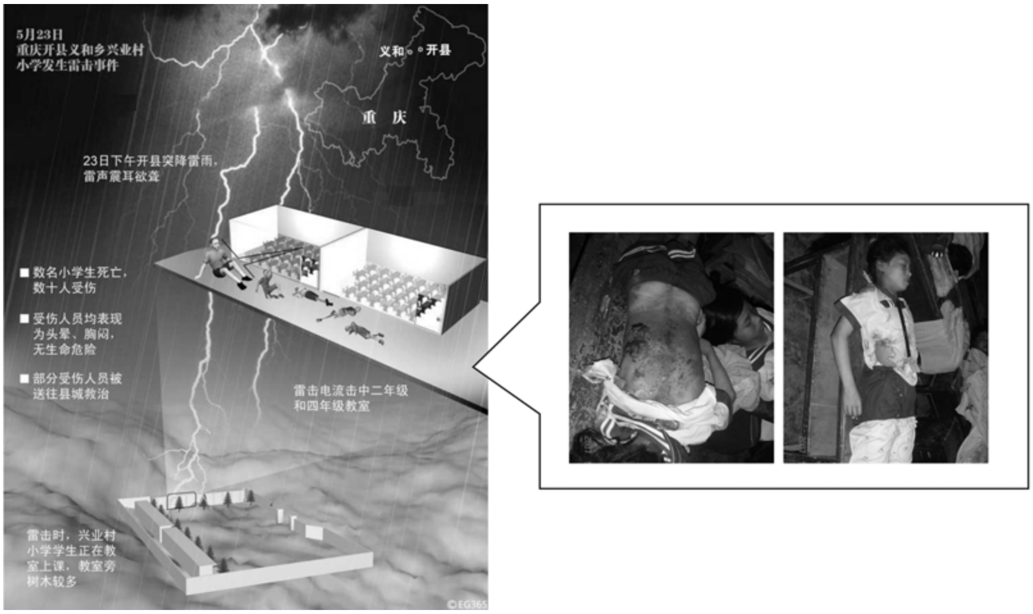


图 1-7　雷击触电

指点迷津

电工必须加强用电安全操作规范和业务的学习。无论哪种类型触电，都有危险，非常危险！都有可能对人体造成不同程度的伤害，甚至危及人的性命！

记 忆 口 诀

安全用电很重要，触电类型要记牢。

单相两相和跨步，安全距离保平安。

静电以及感应电，及时消除有必要。

不懂千万别乱摸，练就技能事故防。

1.2.3 防直接接触触电技术措施

加油站 1——绝缘措施

绝缘就是用绝缘物质和材料把带电体包括或封闭起来，以隔离带电体或不同电位的导体。

所谓绝缘，就是用绝缘物质和材料把带电体隔离（封闭）起来，实现带电体之间、带电体与其他物体之间、不同电位导体之间的电气隔离，使设备能长期安全、正常地工作，同时可以防止人体触及带电部分，避免发生触电事故。所以绝缘在电气安全中有着十分重要的作用，如图 1-8 所示。良好的绝缘是设备和线路正常运行的必要条件，也是防止触电事故的重要措施。

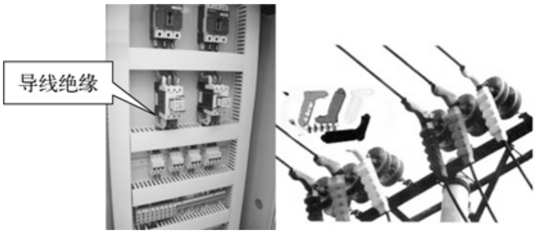


图 1-8　绝缘措施

绝缘具有很强的隔电能力，被广泛地应用在许多电器、电气设备、装置及电气工程上，如胶木、塑料、橡胶、云母及矿物油等都是常用的绝缘材料。

绝缘材料除了绝缘以外，还起着其他作用。例如：散热冷却、机械支撑和固定、储能、灭弧、防潮、防霉及保护导体等。

中转站——绝缘安全

常用的绝缘安全用具有绝缘手套、绝缘靴、绝缘鞋、绝缘垫和绝缘台等。绝缘安全用具可分为基本安全用具和辅助安全用具。

基本安全用具的绝缘强度能长时间承受电气设备的工作电压，使用时可直接接触电气设备的有电部分。辅助安全用具的绝缘强度不足以承受电气设备的工作电压，只能加强

基本安全用具的保安作用，必须与基本安全用具一起使用。在低压带电设备上工作时，绝缘手套、绝缘鞋（靴）、绝缘垫可作为基本安全用具使用，在高压情况下，只能用作辅助安全用具。

加油站 2——安全间距措施

安全间距是指在带电体与地面之间、带电体与其他设施、设备之间、带电体与带电体之间保持的一定安全距离，简称间距。

设置安全间距的目的是：防止人体触及或接近带电体造成触电事故；防止车辆或其他物体碰撞或过分接近带电体造成事故；防止电气短路事故、过电压放电和火灾事故；便于操作。

安全间距的大小取决于电压高低、设备类型、安装方式等因素，如图 1-9 所示为 10kV 架空线路对地安全距离。

1）线路间距

架空线路导线与地面或水面的距离不应低于表 1-4 所列的数值。

表 1-4　导线与地面或水面的最小距离（单位：m）

线路经过地区	线路电压（kV）		
	<1	10	35
居民区	6	6.5	7
非居民区	5	5.5	6
交通困难地区	4	4.5	5
不能通航或浮运的河、湖冬季水面（或冰面）	5	5	5.5
不能通航或浮运的河、湖最高水面（50 年一遇的洪水水面）	3	3	3

架空线路导线与街道或厂区树木的距离不应低于表 1-5 所列的数值。

表 1-5　导线与树木的最小距离（单位：m）

线路电压（kV）	<1	10	35
水平距离	1.0	2.0	—
垂直距离	1.0	1.5	3.0

此外，架空线路与建筑物、有爆炸危险的厂房或有火灾危险的厂房应保持必要的防火间距。架空线路与铁道、道路、索道及其他架空线路之间的距离应符合有关规定。

几种线路同杆架设时，电力线路应位于弱电线路的上方，高压线路位于低压线路的上方，如图 1-10 所示。

2）设备间距

配电装置的布置应考虑到设备搬运、检修、操作和试验的方便性。为了工作人员的安全，

配电装置以外需要保持必要的安全通道。在配电室内，低压配电装置正面通道宽度，单列布置时应不小于 1.5m；室内变压器与四壁应留有适当距离。

3）检修间距

检修间距是指在维护检修中人体及所带工具与带电体之间必须保持的足够的安全距离。在低压工作中，人体及所携带的工具与带电体距离不应小于 0.1m。

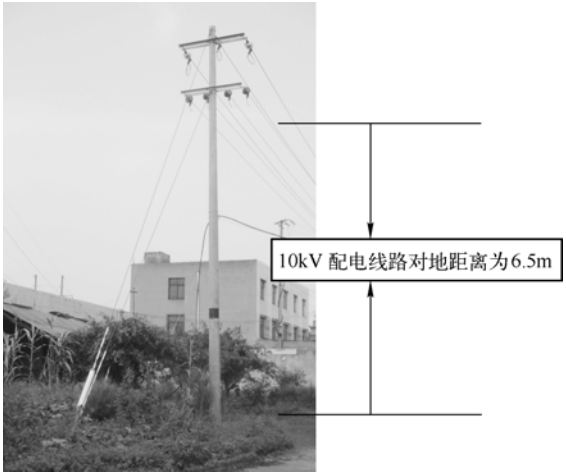


图 1-9　10kV 架空线路对地安全距离

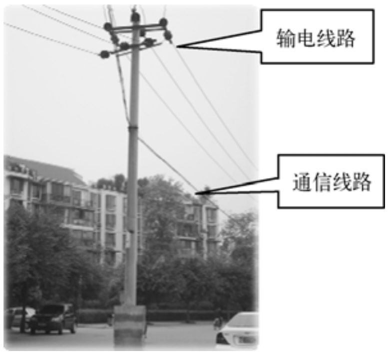


图 1-10　同杆架设的几种线路

加油站 3——屏护措施

屏护是指采用遮栏、围栏、护罩、护盖或隔离板等把带电体同外界隔绝开来，以防止人体触及或接近带电体所采取的一种安全技术措施，如图 1-11 所示。除防止触电的作用外，有的屏护装置还能起到防止电弧伤人、防止弧光短路或便利检修工作等作用。配电线路和电气设备的带电部分，如果不便加包绝缘或绝缘强度不足时，就可以采用屏护措施。



（a）遮栏　（b）箱盖　（c）围栏

图 1-11　屏护措施示例

屏护装置的种类有：永久性屏护装置，如配电装置的遮栏、开关的罩盖等；临时性屏护装置，如检修工作中使用的临时屏护装置和临时设备的屏护装置；固定屏护装置，如母线的护网；移动屏护装置，如龙门吊上的天车滑触线屏护装置等。

变配电设备，凡安装在室外地面上的变压器及安装在车间或公共场所的变配电装置，均需

要设置遮栏或栅栏作为屏护，如图 1-11 所示。邻近带电体的作业中，在工作人员与带电体之间及过道、入口等处应装设可移动的临时遮栏。

屏护装置不直接与带电体接触，对所用材料的电性能没有严格要求。屏护装置所用材料应当有足够的机械强度和良好的耐火性能。但是金属材料制成的屏护装置，为了防止其意外带电造成触电事故，必须将其接地或接零。

指点迷津——使用屏护装置宜与忌

（1）屏护装置必须满足以下安全条件：网状遮拦网眼不得大于 20mm × 20mm，以防止工作人员在检查时将手或工具伸入遮拦内，遮拦高度一般不应低于 1.7m，下部边缘距离地面不应超过 0.1m；户内栅栏高度不应低于 1.2m，户外不应低于 1.5m；户外配电装置围墙高度不应低于 2.5m。

（2）屏护装置应与带电体之间保持足够的安全距离。

（3）被屏护的带电部分应有明显标志，标明规定的符号或涂上规定的颜色。如根据被屏护对象挂上“止步，高压危险!”、“禁止攀登，高压危险!”等标示牌，必要时还应上锁。标示牌只能由担负安全责任的人员进行布置和撤除。

（4）遮栏出入口的门上应根据需要装锁，或采用信号装置、联锁装置。前者一般是用灯光或仪表指示有电；后者是采用专门装置，当人体超过屏护装置而可能接近带电体时，被屏护的带电体将会自动断电。

（5）金属材料制作的屏护装置，安装时必须接地或接零。

记 忆 口 诀

人身安全命相连，绝缘防护是关键。
金属外壳均接地，电阻防腐要合理。
电气安全要注意，设置屏护和间距。
若要进入用电地，首先断电防万一。
安全标志做成牌，悬挂起来没有害。
禁止工作红白色，警告标志黄黑色。

1.2.4　防间接接触触电技术措施

加油站 1——保护接地措施

为了预防这类触电事故的发生，在技术上采用将电气设备的金属外壳及与外壳相连的金属构架与大地做可靠的电气连接，而起到保护人身安全的作用，这就是安全用电中的保护接地措施。

接地保护一般用于配电变压器中性点不直接接地（三相三线制）的供电系统中，用来保证当电气设备因绝缘损坏而漏电时产生的对地电压不超过安全范围。

接地装置由接地体和接地线组成。埋入土壤并直接与大地土壤接触的金属导体或金属组体称为接地体，如图 1-12 所示。

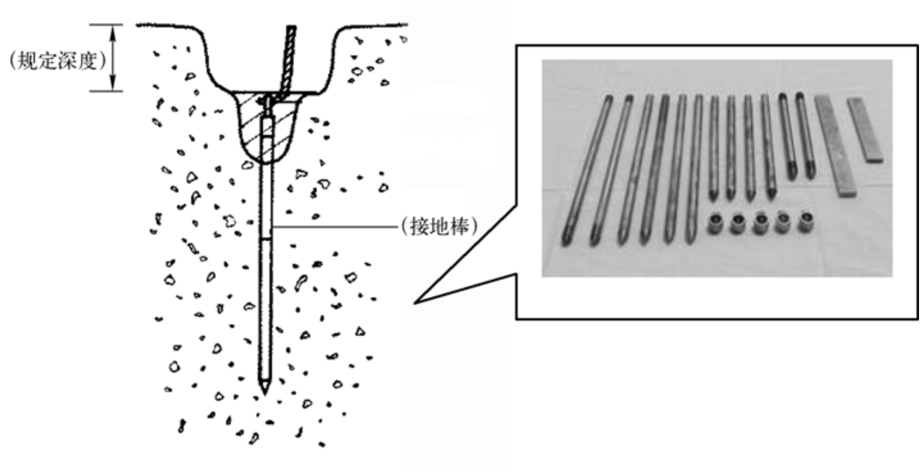
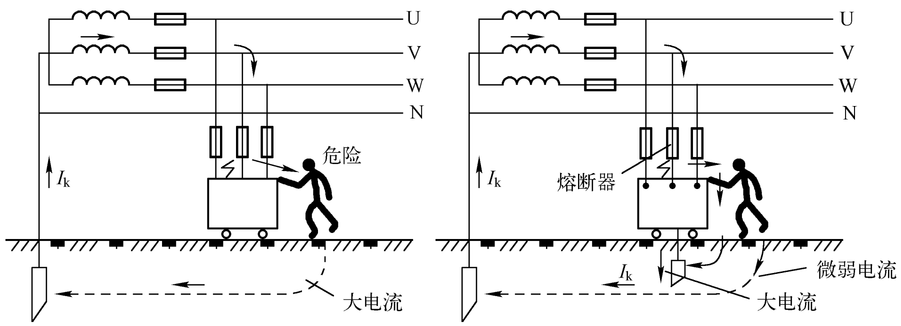


图 1-12　垂直敷设的接地体

中转站——保护接地的原理

如果是一台没有保护接地装置的电动机，当它的内部绝缘损坏致使外壳带电时，人体一旦接触，就通过人体连通了由带电金属外壳与大地形成的电流通路，金属外壳上的电流经人体流入大地而使人触电，如图 1-13（a）所示。

将电动机的金属外壳用导线与大地进行可靠的电气连接后，如果这台电动机绝缘损坏使金属外壳带电，当人体接触它时，金属外壳与大地之间将形成两条并联电流通路：一条是通过保护接地线将电流泄放到大地，另一条是通过人体将电流泄放到大地。在这两条并联电路中，保护接地线的电阻很小，通常只有 4Ω 左右，而人体电阻最小也在 500Ω 以上。根据并联电路中电流与电阻成反比的原理，人体所通过的电流就大大小于通过保护接地线的电流，这时人体就没有触电的感觉，如图 1-13（b）所示。



（a）没有保护接地导致触电　　（b）采用保护接地确保安全

图 1-13　保护接地的原理

由于保护接地线的电阻很小，对电动机与大地之间接近于短路，因此将有大电流通过保护接地线，这种大电流会使电路中的保护设备动作，自动切断电路，从另一层面上保护了人身与设备的安全。

加油站 2——保护接零

保护接零是把电工设备的金属外壳和电网的零线连接，以保护人身安全的一种用电安全措施。

保护接零适用于 380V/220V 的三相四线制中性点接地的供用电系统，其保护原理如图 1-14 所示。当电气设备绝缘损坏，金属外壳带电时，由于保护接零线的电阻很小，相当于对中性线短路，这种很大的短路电流将使线路的保护装置迅速动作，切断电路，既保护了人身安全又保护了设备安全。

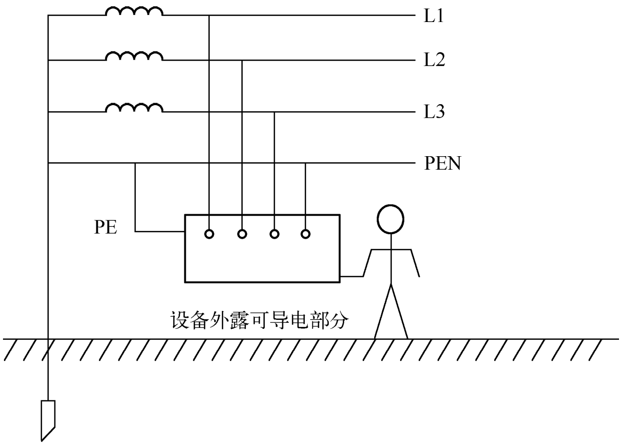


图 1-14　保护接零的原理

指点迷津——保护接地与保护接零比较

保护接地和保护接零为供电系统两个重要的安全技术措施，但两者有明显的差异，施工时必须严格区分。保护接地和保护接零的相同点与不同点见表 1-6。

表 1-6　保护接地和保护接零的相同点与不同点

<table>
<tr><th colspan="2">比　　较</th><th>保 护 接 地</th><th>保 护 接 零</th></tr>
<tr><td colspan="2">相同点</td><td colspan="2">（1）都属于用来保护电气设备金属外壳带电而采取的保护措施；
（2）适用的电气设备基本相同；
（3）都要求有一个良好的接地或接零装置</td></tr>
<tr><td rowspan="4">不同点</td><td>适用场合不同</td><td>适用于中性点不接地的低压供电系统</td><td>适用于中性点接地的低压供用电系统</td></tr>
<tr><td>线路连接不同</td><td>接地线直接与接地系统相连</td><td>接零线直接与电网的中性线连接，再通过中性线接地</td></tr>
<tr><td>接地方法不同</td><td>要求每个电器都要接地</td><td>只要求三相四线制系统的中性点接地</td></tr>
<tr><td>经济性不同</td><td>采用保护接地的 TT 供电系统时，要求保护接地电阻小于 4Ω，即每台设备都要求有一定数量的钢材打入地下，费工、费材料</td><td>采用保护接零的 TN 供电系统时，敷设的零线可以多次周转使用，省工、省料，故接零保护从经济上都是合理的</td></tr>
</table>

记 忆 口 诀

接地接零保安全，系统运行要贯穿。
根据供电选方式，三相三线选接地。
电气设备金属壳，电机电容变压器，
电缆头的金属皮，靠近带电体栏杆，
电热设备金属壳，以上设备要接地。
三相四线选接零，接零保护最常用。
金属外壳接零线，合格安装最关键。

加油站 3——漏电保护器

漏电保护器是一种在规定条件下电路中漏（触）电流（mA）值达到或超过其规定值时能自动断开电路或发出报警的装置，如图 1-15 所示。



（a）带漏电保护器的插座　（b）单极二线漏电保护器　（c）三极四线漏电保护器

图 1-15　漏电保护器

漏电保护器主要由检测元件、中间放大环节、操作执行机构和试验装置四部分组成。

（1）检测元件：由零序互感器组成，用于检测漏电电流，并发出信号。

（2）放大环节：将微弱的漏电信号放大，按装置不同（放大部件可采用机械装置或电子装置），构成电磁式保护器和电子式保护器。

（3）执行机构：收到中间环节的指令信号后，主开关由闭合位置转换到断开位置，自动切断故障电源。执行机构是使被保护电路脱离电网的跳闸部件。

（4）试验装置：由于漏电保护器是一个保护装置，因此应定期检查其是否完好、可靠。试验装置就是通过试验按钮和限流电阻的串联，模拟漏电路径，以检查装置能否正常动作。

漏电保护器动作灵敏，切断电源时间短，因此只要能够合理选用和正确安装、使用漏电保护器，除了能保护人身安全以外，还有防止电气设备损坏及预防火灾的作用。

安装漏电保护器后并不等于绝对安全，运行中仍应以预防为主，并应同时采取其他防止触电和电气设备损坏事故的技术措施。

训练场——漏电保护器的选用

选用漏电保护器的技术参数额定值，应注意与被保护设备或线路的技术参数和安装使用的具体条件相配合。

（1）在不允许突然停电的场合（如计算机房、消防用电设备），应选用只发出漏电信号（发出报警声或光信号，提示值班人员及时排除漏电故障）而不自动切断电源的漏电保护器。

（2）安装在游泳池、喷水池、水上游乐园、浴室等特定区域的电气设备，应选用额定剩余动作电流为 10mA、0.1s 内动作的漏电保护器。

（3）手持式电动工具、移动电器、家用电器等设备，应优先选用额定剩余动作电流不大于 30mA、0.1s 内动作的漏电保护器。

（4）医院中的医疗电气设备，应选用额定剩余动作电流为 6mA、0.1s 内动作的漏电保护器。

（5）单台电气设备，可根据其容量大小选用额定剩余动作电流在 30mA 以上、100mA 及以下、0.1s 内动作的漏电保护器。

（6）在金属物体上工作，操作手持式电动工具或使用非安全电压的行灯时，应选用额定剩余动作电流为 10mA、0.1s 内动作的漏电保护器。

（7）在多级保护的线路中，选择动作电流应考虑前后级保护装置的选择性，在前级要选择灵敏度相对较低、能够适当延时的漏电保护器。

记 忆 口 诀

根据安装的要求，选择级数和电流。
单相电源二百二，二线二级或单级。
三相三线三百八，选用三级保护器。
三相四线三百八，四线三级或四级。
潮湿场所瞬动型，总保护选延时型。

注：本口诀中的“级”表示开关触点，“线”表示进、出线。

加油站 4——安全电压

把可能加在人身上的电压限制在某一范围之内，使得在这种电压下通过人体的电流不超过允许的范围，这种电压就叫安全电压，也叫安全特低电压。

我国确定的安全电压等级是 42V、36V、24V、12V、6V。常用安全电压的适用对象见表 1-7。

表 1-7　常用安全电压的适用对象

电压等级	适用对象
42V	在有触电危险的场所使用的移动家用电器、手持式电动工具等
36V	潮湿场所，如矿井、地下室、地道、多导电粉尘及类似场所使用的电气线路、照明灯及其他用电器具
24V	工作面积狭窄，操作者易大面积接触带电体的场所，如锅炉、金属容器内、大型金属管道内
12V	因工作需要，人体必须长期带电触及电气线路或设备的场所
6V	在水下作业等工作场所

指点迷津

目前，我国采用的安全电压以 36V 和 12V 两个等级居多。在任何情况下，都不能把安全电压当作绝对没有危险的电压。

安全电压设备的插座不得采用带有接零或接地的插头或插孔。

1.2.5 触电急救

加油站 1——触电急救的三种方式

触电急救的形式有自救、互救和医务抢救三种，见表 1-8。

表 1-8 触电急救的方式

急救形式	急救方法
自救	当触电者清醒时，要努力让自己脱离电源，并要防止操作撞伤等二次事故
互救	对于他人触电，首先要让触电者脱离电源，具体方法如下： （1）迅速拉闸或拔掉电源插头或切断电源线，如图 1-16（a）所示； （2）迅速用绝缘工具，如干燥的竹、木棍等挑开触电者身上的导线或电气用具，如图 1-16（b）所示； （3）站立在干燥的木板、衣物等绝缘物上，戴绝缘手套或裹着干燥衣物拉开导线、电气用具或触电者，如图 1-16（c）所示； （4）根据情况，及时拨打 120，如图 1-16（d）所示
医务抢救	触电者脱离电源后，必须根据情况，立即就地实施抢救，即使是在送医院的途中也不能停止抢救，如图 1-17 所示。根据统计，抢救及时、方法正确的，均有良好的效果；时间拖长了才开始抢救的，救活比例很小



（a）及时切断电源　（b）让触电者迅速脱离电源　（c）站在绝缘物上救助触电者　（d）迅速拨打 120

图 1-16 触电互救

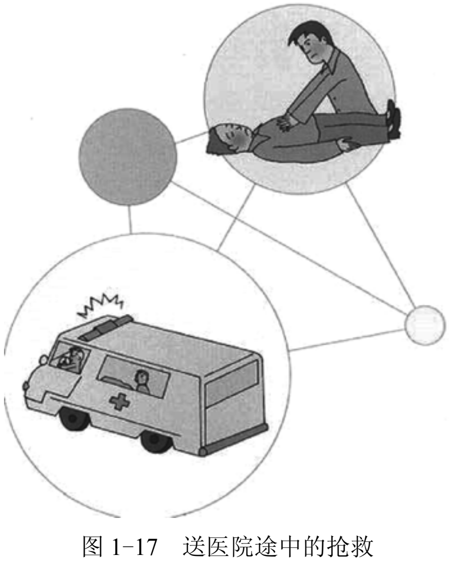


图 1-17 送医院途中的抢救

中转站——让触电者脱离电源

发现有人触电时，最重要的抢救措施是先迅速切断电源，再抢救伤者。帮助触电者脱离低压电源的方法可用“拉”、“切”、“挑”、“拽”、“垫”五字来概括，见表 1-9。

表 1-9　触电者脱离低压电源的方法

方　法	操作方法及注意事项
拉	就近拉开电源开关。但应注意，普通的电灯开关只能断开一根电线，有时由于安装不符合标准，可能只断开零线，而不能断开电源，人身触及的电线仍然带电，不能认为已切断电源
切	当电源开关距触电现场较远，或断开电源有困难时，可用带有绝缘柄的工具切断电源线。切断时应防止带电电线断落触及其他人
挑	当电线搭落在触电者身上或压在身下时，可用干燥的木棒、竹竿等挑开电线，或用干燥的绝缘绳套拉电线或触电者，使触电者脱离电源
拽	救护人员可戴上手套或在手上包缠干燥的衣物等绝缘物品拖拽触电者，使其脱离电源。当触电者的衣物是干燥的，又没有紧缠在身上，不至于使救护人直接触及触电者的身体时，救护人可用一只手抓住触电者的衣物，将其拉开脱离电源
垫	如果触电者由于痉挛，手指紧握电线，或电线缠在身上，可先用干燥的木板塞进触电者的身下，使其与地绝缘，然后再采取其他办法切断电源

帮助触电者脱离电源应注意以下问题。

（1）救护人不可直接用手或其他金属及潮湿的物件作为救护工具，而必须使用适当的绝缘工具。

（2）一般情况下，救护人应用单手操作。

（3）要防止触电者脱离电源后可能的摔伤等。

（4）夜间发生触电事故，应迅速解决临时照明问题。

（5）尽快让触电者脱离电源固然很重要，但更重要的是保护好自己不触电。

加油站 2——常用触电急救方法

常用触电急救方法见表 1-10。

表 1-10　常用触电急救方法

触电者症状	实 施 方 法	急 救 方 法
呼吸微弱甚至停止，但心跳尚存	口对口人工呼吸法	（1）使触电者伸直，仰卧，头部尽量后仰，鼻孔朝天 （2）捏紧鼻子，贴嘴吹气，使其胸扩张 （3）吹 2s，停 3s，5s 为一个周期最恰当（如果口掰不开，可向鼻孔吹气），如图 1-18 所示
心跳微弱、不规则或停止，但呼吸尚存	胸外心脏挤压法	（1）使触电者仰卧在硬地上 （2）抢救者跨腰跪在被救者腰部两侧，两手相叠，中指对凹膛，当胸一掌，掌根用力压胸膛，压下 3～4cm，慢压突放，手掌不离胸膛，60～100 次/min 效果最好，如图 1-19 所示 （3）抢救儿童，用单手，100 次/min 左右

续表

触电者症状	实施方法	急救方法
呼吸和心跳均停止	口对口人工呼吸和胸外心脏挤压法	（1）一人抢救：采取两种方法交替进行，即吹气 2～3 次，再挤压心脏 10～15 次，而且吹气和挤压的速度可提高一些 （2）两人抢救：每 5s 吹气一次，每 1s 挤压一次，两人同时交替进行，如图 1-20 所示

口对口人工呼吸动作要领口诀
伤员仰卧平地上，解开领扣松衣裳。
张口捏鼻手抬颌，贴嘴吹气看胸张。
张口困难吹鼻孔，五秒一次吹正常。
吹气多少看对象，大人小孩要适量。

胸外心脏挤压动作要领口诀
掌根下压不冲击，突然放松手不离。
手腕略弯压一寸，一秒一次较适宜。



图 1-18　口对口人工呼吸法操作步骤



图 1-19　胸外心脏挤压法操作步骤

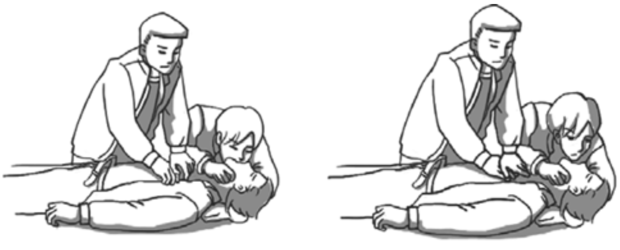


图 1-20　两种方法同时进行

指点迷津——触电急救注意事项

对触电者急救越及时，救治效果就越好，见表 1-11。

表 1-11　急救时间与救治效果

开始急救时刻	救治效果
1min	90%有良好效果
6min	10%有良好效果
12min	救活的可能性极小
超过 15min	基本上是触电者死亡

无论用哪种方法救治，都要不断观察触电者的面部动作。如果发现他的眼皮、嘴唇会动，喉头有一定的吞咽动作，说明他有一定的呼吸能力，应暂停几秒，观察自动呼吸情况，如果不行，必须继续。在触电者呼吸恢复正常前，无论什么情况，包括送医院途中、雷雨天气或抢救时间长而效果不太明显者，都不能终止这种抢救。在这种抢救实例中，有长达 7～10h 救活的。

还需注意，在触电现场的抢救中，无论怎样严重，都禁止使用强心针！

记 忆 口 诀

有人触电莫手牵，伤员脱电最关键。
切断电源是首先，干燥竹木挑电线。
如果身边无工具，干燥衣服也可用。
脱电伤员要平放，检查呼吸和心跳。
人工急救不间断，联系医生要尽快。

指点迷津——触电急救要点

（1）触电急救八字方针：迅速、就地、准确、坚持。
（2）人工急救原则：动作迅速、救护得法。
（3）急救场地要求：平坦、坚实、干燥、阴凉、通风。

1.3　保障电力安全作业的组织措施

保障电力安全作业的组织措施主要有：现场查勘制度，工作票制度，工作许可制度，工作监护制度，工作间断制度，工作结束和恢复送电制度等。

1.3.1　现场勘察

加油站——现场勘察制度

（1）进行电力线路施工作业或工作票签发人和工作负责人认为有必要现场勘察的施工（检修）作业，施工、检修单位均应根据工作任务组织现场勘察，并做好记录。

（2）现场勘察应查看现场施工（检修）作业需要停电的范围、保留的带电部位和作业现场的条件、环境及其他危险点等。

（3）根据现场勘察结果，对危险性、复杂性和困难程度较大的作业项目，应编制组织措施、

技术措施、安全措施，经本单位主管生产领导（总工程师）批准后执行。

1.3.2 工作票

加油站 1——工作票制度

工作票是准许在电气设备上工作的书面命令，也是执行保证安全技术措施的书面依据。《国家电网公司电力安全工作规程》中规定：在电气设备上的工作，应填用工作票或事故应急抢修单。工作班组在作业前要整齐列队，清点人数，由工作负责人宣读工作票；严肃、认真、详细地交待工作任务、安全措施及注意事项。

工作票的内容包括：工作票编号、工作负责人、工作班成员、工作地点和工作内容，计划工作时间、工作终结时间，停电范围、安全措施，工作许可人、工作票签发人、工作票审批人、送电后评语等。

加油站 2——工作票的种类

由于各种工作条件下对安全工作的要求不同，采取的安全措施也不一致，工作票的形式也有所区别。主要有第一种工作票和第二种工作票。

在电气设备上的工作，应填用工作票或事故应急抢修单，其方式有下列 6 种：

（1）填用变电站（发电厂）第一种工作票；

（2）填用电力电缆第一种工作票；

（3）填用变电站（发电厂）第二种工作票；

（4）填用电力电缆第二种工作票；

（5）填用变电站（发电厂）带电作业工作票；

（6）填用变电站（发电厂）事故应急抢修单。

在电力线路上工作，应按下列方式进行：

（1）填用电力线路第一种工作票；

（2）填用电力电缆第一种工作票；

（3）填用电力线路第二种工作票；

（4）填用电力电缆第二种工作票；

（5）填用电力线路带电作业工作票；

（6）填用电力线路事故应急抢修单；

（7）口头或电话命令。

第一种工作票适用于：高压设备上的工作需要全部停电或部分停电；高压室内的二次接线和照明等回线上的工作；需要将高压设备停电或做安全措施等情况。

第二种工作票适用于：带电作业和在带电设备外壳上的工作；控制屏的低压配电屏、配电箱、电源干线上的工作；在二次回路上工作，未将高压设备停电；转动中的发电机，同期调相机的励磁回路或高压电动机转子电阻回路上的工作；非当班值班人员用绝缘棒和电压互感器定相或用钳型电流表测量高压回路的电流等情况。

记 忆 口 诀

工作要办工作票，申请许可才能行。
两种类型工作票，内容逐条看清楚。
填写内容不涂改：工作地点和时间，
设备名称及编号，装设接地线地点。
操作步骤要核对，操作顺序勿颠倒。

1.3.3　工作许可制度

加油站 1——工作许可制度的主要内容

工作许可制度，是在完成安全措施之后，为进一步加强工作责任感，确保工作安全所采取的一种必不可少的措施。因此，在完成各项安全措施之后，必须再履行工作许可手续，方可开始工作。

工作许可制度的主要内容有：对于发电厂和变电所第一、二种工作票的许可工作，工作许可人在完成施工现场的安全措施后还应会同工作负责人到现场再次检查所做的安全措施，以手触试，证明检修设备确无电压；对工作负责人应指明带电设备的位置和注意事项，并和工作负责人在工作票上分别签名。

对从事电力线路第一种工作票的工作，工作负责人必须在得到值班调度员或工区值班员的许可后，方可开始工作；线路停电检修时，值班调度员必须在发电厂、变电所将线路可能受电的各方面都拉闸停电，并挂好接地线后，将工作班、组数目，工作负责人的姓名，工作地点和工作任务记入记录簿内，才能发出许可工作的命令。

执行热力和机械工作票的许可工作，工作许可人和工作负责人应共同到现场检查安全措施，由工作许可人向工作负责人详细交待安全措施布置情况和安全注意事项，工作负责人对照工作票检查安全措施无误后，双方在工作票上签字并记录开工时间，作为工作许可的凭证。

加油站 2——工作许可人的安全职责

（1）审查工作必要性。

（2）检查线路停、送电和许可工作的命令是否正确。

（3）检查许可的接地等安全措施是否正确完备。

1.3.4　工作监护制度

加油站 1——工作监护制度的内容

工作票许可手续完成后，工作负责人、专责监护人应向工作班成员交待工作内容、人员分工、带电部位和现场安全措施，进行危险点告知，并履行确认手续，工作班方可开始工作。工作负责人、专责监护人应始终在工作现场，对工作班人员的安全认真监护，及时纠正不安全的行为。

加油站 2——专责监护人的职责

（1）明确被监护人员和监护范围。

（2）工作前对被监护人员交待安全措施、告知危险点和安全注意事项。

（3）监督被监护人员遵守本规程和现场安全措施，及时纠正不安全行为。

1.3.5　工作间断制度

工作间断制度是在执行工作票或安全措施票期间，因故暂时停止工作，然后又复工或当日收工，次日再进行工作，即工作中间有间断和在工作间断时所规定的一些制度。

加油站——工作间断制度的内容

（1）工作间断或遇雷雨等威胁工作人员安全时，应使全体工作班人员从工作场地撤出，所有安全措施保持不动，工作票仍由工作负责人执存；间断后继续工作无须通过工作许可人；每次收工应清扫工作地点，开放已封闭的通道，并将工作票交回值班员保管；次日复工时，必须重新履行工作许可制度。工作负责人必须重新认真检查安全措施，符合工作票的要求后方可工作；若无工作负责人或监护人带领，工作人员不得进入工作地点。

（2）在同一电气连接部分，用同一张工作票依次在几个地点转移工作时，全部安全措施由值班员在开工前一次做完，不需要再办理转移手续，但工作负责人在转移到下一个工作地点时，应向工作人员交代停电范围、安全措施和注意事项。

（3）在办理工作票终结手续（交回工作票）以前，值班员禁止将施工设备合闸送电，但应先将工作班全班人员已经离开工作地点的确切根据通知工作负责人或电气分场负责人。在得到他们可以送电的答复后方可执行，并应采取下列措施：

① 拆除接地线、标示牌，恢复遮栏、换挂“止步，高压危险！”的警告牌。

② 派专人现场守候，工作票交回以前不得离开守候地点。

（4）检修工作结束前若需将设备试送电，可按下列条件进行：

① 全体工作人员撤离工作地点。

② 将该系统的所有工作票收回，拆除接地线、标示牌，恢复遮栏。

③ 应在工作负责人、值班员进行全面检查无误后，由值班员试送电；若需继续工作，应重新履行工作许可制度。

1.3.6　工作终结和恢复送电制度

加油站——工作终结和恢复送电制度的内容

（1）完工后，工作负责人（包括小组负责人）应检查线路检修地段的状况，确认在杆塔上、

导线上、绝缘子串上及其他辅助设备上没有遗留的个人保安线、工具、材料等，查明全部工作人员确由杆塔上撤下后，再命令拆除工作地段所挂的接地线。接地线拆除后，即应认为线路带电，禁止任何人再登杆进行工作。

（2）多个小组工作，工作负责人应得到所有小组负责人工作结束的汇报。

（3）工作终结后，工作负责人应及时报告工作许可人。

（4）工作许可人在接到所有工作负责人（包括用户）的完工报告，并确认全部工作已经完毕，所有工作人员已由线路上撤离，接地线已经全部拆除，与记录簿核对无误并做好记录后，方可下令拆除各侧安全措施，向线路恢复送电。

1.4　电气防火与灭火

1.4.1　电气防火

加油站——电气火灾和爆炸的原因

1）易燃易爆环境

在发电厂及变电所，广泛存在易燃易爆物质，许多地方潜伏着火灾和爆炸的可能性。例如，电缆本身是由易燃绝缘材料制成的，故电缆沟、电夹层和电缆隧道容易发生电缆火灾；油库、用油设备（如变压器、油断路器）及其他存油场所也易引起火灾和爆炸。

2）引燃条件

（1）电气设备过热造成危险温度：电气设备运行时是要发热的，但是，设备在安装和正常运行状态中，发热量和设备散热量处于平衡状态，设备温度不会超过额定条件规定的允许值，这是设备的正常发热。当电气设备正常运行遭到破坏时，设备可能过度发热，出现危险温度，会使易燃易爆物质温度升高，当易燃易爆物质达到其自燃温度时，便着火燃烧，引起电气火灾和爆炸。

造成危险温度的原因有过载、短路、接触不良、铁芯发热、散热不良、电热器件使用不当等。

（2）电火花和电弧：一般电火花和电弧的温度都很高，电弧温度可达 6 000℃，不仅能引起可燃物质燃烧，还可直接引燃易燃易爆物质或电弧使金属熔化、飞溅，间接引燃易燃易爆物质，引起火灾，如图 1-21 所示。因此，在有火灾和爆炸危险的场所，电火花和电弧是很危险的着火源。电火花和电弧包括工作电火花和电弧、事故电火花和电弧两类。



图 1-21　闪电般的高压电弧

3）漏电及接地故障引起火灾

当单相接地故障以弧光短路的形式出现或线路绝缘损坏时，将导致供电线路漏电。

4）静电引起火灾及爆炸

静电电量虽然不大，但因其电压很高而容易发生火花放电，如果所在场地有易燃物品，又

由易燃物品形成爆炸性混合物，便可能由于静电火花而引起爆炸或火灾。

5）雷电引起火灾

雷云电位可达 1 万～10 万 kV，雷电流可达 50kA，若以 0.000 01s 的时间放电，其放电能量约为 10J，这个能量约为使人致死或易燃易爆物质点火能量的 100 万倍，足可使人死亡或引起火灾。

1.4.2 电气火灾扑救

加油站 1——断电灭火

电气设备发生火灾时，由于带电燃烧，所以十分危险。现场抢救人员首先应千方百计地设法立即切断有关电源，然后进行灭火。断电灭火应注意以下几点。

（1）切断电源的位置要选择适当，防止切断电源后影响扑救工作的进行。

（2）在离配电室或动力配电箱较近时，可断开油断路器、空气断路器或其他可带负荷拉闸的负荷开关，但不能带负荷拉隔离开关，以免电弧短路而发生危险。

（3）剪断电源线的位置选择在电源方向有支持物的附近，不同部位应分别剪断，以防止线路发生短路或导线剪断后跌落在地上造成接地短路，危及人身安全。

（4）在火灾现场，由于开关设备受潮或受烟熏，其绝缘性能会下降，因此在切断电源时，应使用绝缘操作棒或戴橡胶绝缘手套进行操作。

（5）当燃烧情况对临近运行设备有严重威胁时，应迅速拉开相应的断路器和隔离开关。

加油站 2——带电灭火

电气设备发生火灾时，一般应先切断电源后再进行扑救，这样可减小触电危险。但如果火势迅猛，来不及断电，或因某种原因不可能断电，为了争取灭火时机，防止灾情扩大，可进行带电灭火。带电灭火应注意以下几点。

（1）带电灭火要使用不导电的灭火剂进行灭火，如二氧化碳、1211、干粉等，如图 1-22 所示。严禁使用导电的灭火剂，如喷射水流、泡沫等。



图 1-22　电火灾与灭火器

（2）必须注意周围环境情况，防止身体、手、足或者使用的消防器材等直接与有电部分接触，或与带电部分过于接近而造成触电事故。带电灭火时，应戴橡胶绝缘手套。

（3）在灭火中若电气设备发生故障，如电线断落于地，在局部地域将产生跨步电压，扑救人员进入该区域进行灭火时，必须穿好橡胶绝缘靴。

中转站——常用不导电的灭火剂

由于水、泡沫等灭火剂是导电体，在扑救带电火灾时容易造成灭火人员触电，因此，需要采用不导电的灭火剂灭火。火场上常采用的不导电灭火剂有以下几种。

（1）干粉。干粉灭火剂由钾和钠的碳酸盐类加入滑石粉、硅藻土等掺合而成，不导电干粉灭火器有人工投掷和压缩气体喷射两种。灭火原理是抑制燃烧，干粉能够与物质燃烧所产生的 OH 等活性基团进行反应，使其成为非活性物质，让燃烧连锁反应不能继续进行，从而达到灭火的效果。干粉灭火剂不适用于扑灭有旋转电机的电气设备和怕灭火剂污损的精密电气设备火灾。

（2）二氧化碳。二氧化碳灭火剂是完全燃烧产物，常温下是一种无色、无味、不导电的气体，对设备无腐蚀性，属不燃气体。相对空气密度为 1.5，液态状态下装入灭火器筒内，极易挥发，常温下保持 $60kg/cm^2$ 的压力。当液态二氧化碳喷射时，体积扩大 400 ~ 700 倍，强烈吸热冷却凝结为霜状干冰，在燃区直接变为气体，吸热降温使燃烧物隔离空气，从而达到灭火目的。二氧化碳气体容易致人窒息，使用时人应在上风或侧风方向，同时手应握住灭火器手柄，防止干冰接触人体造成冻伤。

（3）四氯化碳。四氯化碳灭火剂是一种无色透明、易挥发的液体，不自燃、不助燃、不导电，相对密度为 1.6，沸点为 76.8℃，蒸气密度约为空气的 5.5 倍。当液态的四氯化碳喷射到着火区时，迅速吸热气化，蒸气使燃烧物与氧气隔绝，从而使燃烧终止。四氯化碳在空气中的浓度达到 10%时，即可熄灭火灾。但四氯化碳具有毒性，高温下与水蒸气等物质作用产生剧毒气体，因此，使用时应配戴防毒面具，人要在上风或侧风方向，以防中毒。

（4）1211 灭火剂。1211 灭火剂常成为液体状态被装入灭火器筒内，分为手提式和固定喷嘴装置两种。它是一种高效、低毒、腐蚀性小、灭火后不留痕迹、不导电、使用安全、贮存期长的灭火剂。它能够阻止燃烧连锁反应，并有一定的冷却和窒息作用，对扑救电气设备、精密仪器火灾有特殊的效果，可以与火灾报警装置组成固定灭火系统，对电控室、主变压器、电子计算机房、电缆隧道实施自动灭火。

训练场——干粉灭火器的使用

（1）右手托着压把，左手托着灭火器底部，轻轻取下灭火器。右手提着灭火器到现场。

（2）拔出保险销。

（3）左手握着喷管，右手提着压把。

（4）在距离火焰 2～3m 的地方，右手用力压下压把，左手拿着喷管左右摆动，由近至远扑火，让喷射干粉覆盖整个燃烧区。

干粉灭火器的使用方法及步骤如图 1-23 所示。

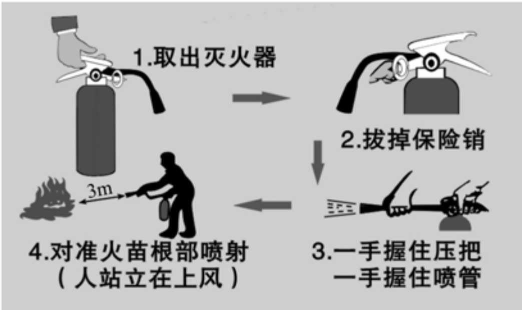


图 1-23 干粉灭火器的使用方法及步骤

指点迷津——干粉灭火器使用宜与忌

（1）干粉灭火器按移动方式分为手提式、背负式和推车式三种，主要适用于扑救各种易燃、可燃固体、液体和气体火灾，以及电气设备火灾。家装公司在装修现场配置的一般是手提式干粉灭火器。

（2）先颠倒几次，再拔出保险销（如图 1-24 所示），快速调整好人与着火点的距离，注意角度，对准火的根部，左右扫射，向前推进，不留残火。



图 1-24 拔出保险销

（3）扑救油类火灾时，不要让干粉气流直接冲击油渍，以免溅起油面使火势蔓延。

（4）操作时要保持竖直，不能横置或倒置，否则易导致驱动气体短路泄漏，不能将灭火剂喷出。

（5）干粉灭火器的安放地点应干燥通风，避免阳光辐射、雨淋，远离腐蚀性物质。

第 2 章　电气故障检修常用工具和仪表

2.1　电工常用检修工具的使用

2.1.1　试电笔的使用

加油站 1——试电笔的作用及类型

试电笔也称验电器或验电笔，俗称电笔，它是用来检验导线、电器或电气设备的金属外壳是否带电的一种安全工具。

试电笔有两个作用：一是停电检修时用于确认被检修部位无电压；二是带电检修时用于查明被测部位是否有电。

常用的试电笔有钢笔式、螺丝刀式、感应式等。目前电工最常用的是螺丝刀式试电笔，如图 2-1 所示。



（a）感应式　（b）螺丝刀式　（c）钢笔式

图 2-1　常用试电笔的外形

指点迷津

停电检修时，用试电笔判断有两种可能：一是无电压，二是显示有电压。

显示有电压有两种可能：一是确实有电，二是带有感应电压。有感应电压时，应准确查明原因，采取必要措施，消除触电的可能。

检修时，单凭试电笔判断有无电不是百分百准确有效，应配合其他仪表进行确认。

加油站 2——螺丝刀式试电笔的结构

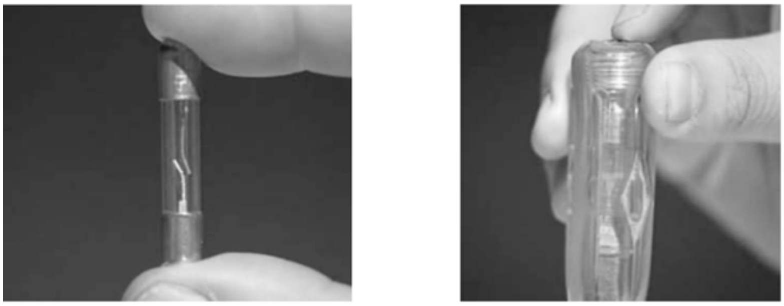
小型螺丝刀式试电笔由笔尖、电阻、氖管、笔筒、弹簧和金属端盖等组成，其基本结构如图 2-2 所示。



图 2-2　试电笔的基本结构

下面简要介绍试电笔各个组成部分的作用。

（1）氖管是一种内部充满氖气的玻璃管，在电路中只要通过微弱的电流，它就会发出暗黄色的光，如图 2-3 所示。通过氖管的发光可判断试电笔被测试点是否有电。



（a）氖管　（b）氖管发光

图 2-3　氖管和氖管发光

（2）电阻是试电笔的安全器件，可限制使用时的电流不至于使人触电。试电笔内电阻的阻值因各产品型号不同，在 1～2MΩ之间，有所不同。

（3）弹簧的作用是用来导电。

（4）金属端盖用于与人体接触，产生回路。

中转站——试电笔的测量范围

普通低压试电笔的电压测量范围在 60～500V。低于 60V 时，电笔的氖管可能不会发光显示；对于高于 500V 的电压，严禁用普通低压试电笔测量，以免发生触电事故。

训练场 1——试电笔判断有无电

用螺丝刀式试电笔判断线路或设备有无电的方法是：人手接触试电笔的金属端盖或挂鼻，让笔尖与需要测试的部位紧密接触，根据氖管是否发光，可判断有电或无电，如图 2-4 所示。

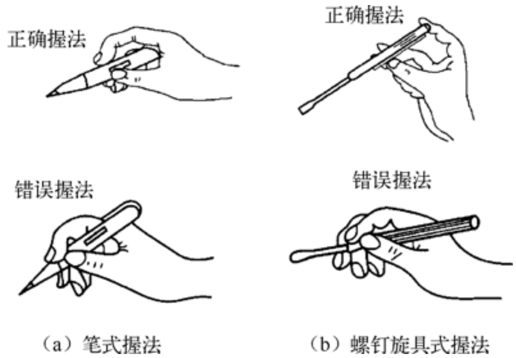


图 2-4　试电笔的握法

有经验的电工可以凭借自己经常使用的试电笔氖管发光的强弱来估计电压的大约数值，氖管越亮，说明电压越高。

指点迷津——使用试电笔注意事项

（1）使用试电笔之前，首先要检查电笔内有无安全电阻，然后检查试电笔是否损坏，有无受潮或进水现象，检查合格后方可使用。

（2）在使用试电笔测量电气设备是否带电之前，先将试电笔在确认有电源的部位检查一下氖管是否能正常发光，能正常发光，方可使用，如图 2-5 所示。

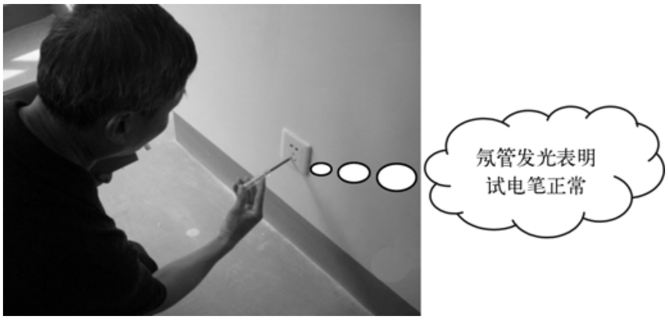


图 2-5　检查试电笔的好坏

（3）使用试电笔要使氖管小窗背光，以便看清它测出带电体带电时发出的红光。如果试电笔氖管发光微弱，切不可就断定带电体电压不够高。其原因也许是试电笔或带电体测试点有污垢，也可能测试的是带电体的地线，这时必须擦干净测电笔或者重新选择测试点。反复测试后，氖管仍然不亮或者微亮，才能最后确定测试体确实不带电。

在明亮的光线或阳光下测试带电体时，应当注意避光（必要时可用另一只手遮挡光线，仔细判别），以防光线太强不易观察到氖管是否发亮，造成误判。千万不要造成误判，将

氖泡发光判断为不发光，而将有电判断为无电！

（4）使用试电笔时，不能用手触及试电笔前端的金属探头，这样做会造成人身触电事故。使用时，一定要用手触及试电笔尾端的金属部分，否则，因带电体、试电笔、人体与大地没有形成回路，试电笔中的氖泡不会发光，造成误判，认为带电体不带电，这是十分危险的。

（5）大多数试电笔前面的金属探头都制成小螺丝刀形状，在用它拧螺钉时，用力要轻，扭矩不可过大，以防损坏。



图 2-6　在刀杆上加套绝缘套管

（6）试电笔刀杆较长时，可在刀杆加绝缘套管，以确保使用安全，如图 2-6 所示。

（7）试电笔使用完毕，要保持清洁，并放置在干燥处，严防摔碰。

指点迷津

电笔判断有无电口诀

低压设备有无电，使用电笔来验电。
确认电笔完好性，通过试测来判断。
手触笔尾金属点，千万别碰接电端。
笔身破裂莫使用，电阻不可随意换。
避光测量便观察，刀杆较长加套管。
测量电压有范围，氖泡发光为有电。
使用电笔有禁忌，不可接触高压电。



训练场 2——试电笔区别交、直流电源

当测试交流电时，氖管两个极会同时发亮；而测试直流电时，氖管只有一极发光。最好在“两电”之间进行比较，这样就很明显，如图 2-7 所示。

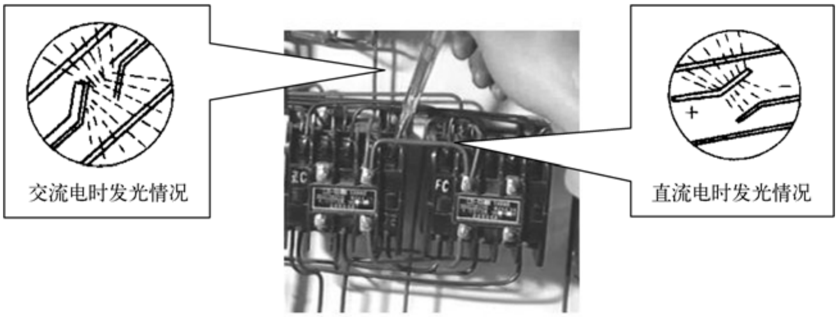


图 2-7　试电笔判断交流电、直流电

把试电笔连接在正、负极之间，发亮的一端为电源的负极，不亮的一端为电源的正极。

指点迷津

电笔判断交直流电口诀
电笔判断交直流，交流明亮直流暗。
交流氖管通身亮，直流氖管亮一端。

训练场 3——试电笔判断同相与异相电

如图 2-8 所示，人站在完全对地绝缘的物体上，两只手各握一支试电笔（要注意握笔的要求，防止触电），当两支笔同时接触两根带电的导线时，若这两根导线属于同一相，由于电位相等，即没有电压，所以验电笔不会发光，即同相两笔都不亮；若这两根导线各属一相（即异相），由于电位不相等，存在一定的电压，所以在两支验电笔和人体串联的通路中会有电流通过，两支验电笔将同时发光。测试时，两笔亮与不亮显示一样，故只看一支即可。

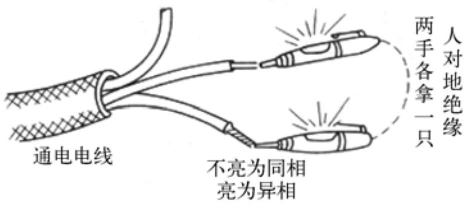


图 2-8　试电笔判断同相与异相

指点迷津

试电笔判断同相与异相电口诀
判断两线相同异，两手各握笔一支。
各触一根电源线，两脚与地要绝缘。
用眼观看一支笔，不亮同相亮为异。

训练场 4——试电笔判断相线接地法

在中性点不接地的三相三线制系统中，用验电笔触及三根相线时，有两根比通常稍亮，而另一根上的亮度要弱一些，则表示亮度弱的这根相线有接地现象，但还不太严重；如果两根很亮，而剩余一根几乎看不见亮，则是这根相线有金属接地故障。

指点迷津

试电笔判断相线是否接地口诀
星形接法三相线，电笔触及两根亮，
剩余一根亮度弱，该相导线已接地。
若是几乎不见亮，金属接地的故障。

中转站——巧用试电笔

（1）试电笔判断感应电

在同一电源上测量，正常时氖管发光，用手触摸金属外壳会更亮，而感应电发光弱，用手触摸金属外壳时无反应。

（2）试电笔检查相线是否碰壳

用试电笔触及电气设备的壳体，若氖管发光，则有因相线碰壳而引起的漏电现象。

训练场 5——数显感应试电笔的使用

如图 2-9 所示是比较常见的一种数显感应试电笔。使用感应式试电笔，无须物理接触，可检查控制线、导体和插座上的电压或沿导线检查断路位置。数显感应试电笔既灵敏又安全，它是电工日常工作必备工具之一。下面简要介绍其使用方法。

（1）交流验电：手触直测钮，用笔头测带电体，有数字显示者为火线，反之为零线，如图 2-10 所示。

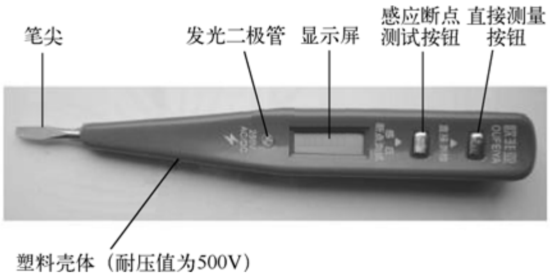


图 2-9　数显感应试电笔

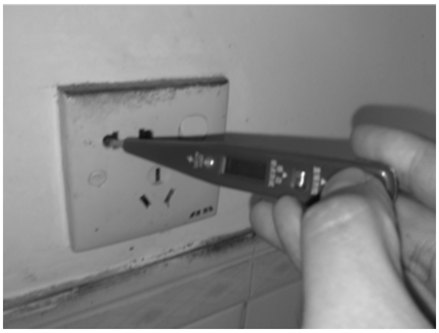


图 2-10　交流验电

（2）线外估测零火线及断点：手触检测钮，用笔头测带电体绝缘层，有符号显示为火线，反之为零线；沿线移动符号消失为导线的断点位置。

（3）测电气设备的通断（不能带电测量）：手触被测设备一端，测另一端，亮者为设备通，反之为断。

（4）测电池容量：手触电池正极，笔头测负极，不亮者为电池有电，亮者为无电。

（5）测电子元器件。

① 测小电容器：手触电容器的一个极，用试电笔测另一极，闪亮一下为电容器正常，对调位置测量，同上；若均亮或均不亮，证明电容器短路（或容量过大）或断路。

② 测二极管：手触二极管的一个极，用试电笔测另一极，亮者，手触极为正极，反之为负极；双向均亮或均不亮，则二极管短路或断路。

③ 测三极管：轮流用手触三极管的一个极，分别测另两个极，直至全亮时，手触极为基极，该三极管为 NPN 型；测某极，手触另两个极亮者，所测极为基极，该三极管为 PNP 型。

指点迷津

在使用数显感应试电笔时，如果试电笔自检失灵，要打开后盖检查电地是否正常或接触是否良好。

自检的方法是：手触直测钮，另一手触笔头，发光管亮者证明试电笔本身正常。

2.1.2　电工钳的使用

常用的电工钳有钢丝钳、剥线钳和尖嘴钳，不同的电工钳有不同的用途和使用方法。

加油站 1——钢丝钳

钢丝钳有铁柄和绝缘柄两种，为保证安全，电工应使用绝缘柄的钢丝钳。常用的钢丝钳有 150mm、175mm、200mm 及 250mm 等多种规格，可根据内线或外线工种需要进行选用。

钢丝钳主要由钳头和钳柄两大部分组成，其结构如图 2-11 所示，钳头由钳口、齿口、刀口和铡口 4 部分组成。

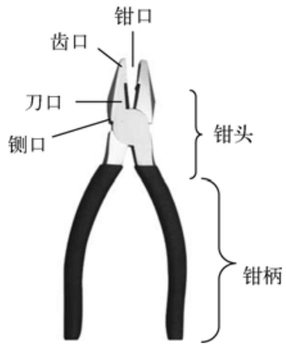


图 2-11　钢丝钳的结构

训练场 1——钢丝钳的使用

钢丝钳是一种钳夹和剪切工具，其用途很多：钳头上的钳口用来弯绞或钳夹导线线头；齿口用来旋动螺母；刀口用来剪切导线或剖切软导线绝缘层；铡口用来铡切较硬的线材，如图 2-12 所示。

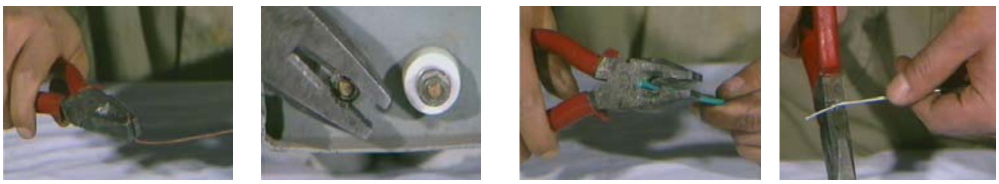

（a）弯绞线头　（b）旋动螺母　（c）剪切导线　（d）铡切钢丝

图 2-12　钢丝钳的使用方法

指点迷津——使用钢丝钳注意事项

（1）钢丝钳的绝缘护套耐压一般为 500V，使用时应检查手柄的绝缘性能是否良好。绝缘如果损坏，进行带电作业时会发生触电事故。

（2）带电操作时，手离金属部分的距离应不小于 2cm，以确保人身安全。

（3）剪切带电导线时，严禁用刀口同时剪切相线和中性线，或同时剪切两根相线，以免发生短路事故。

（4）钳轴要经常加油，防止生锈。

加油站 2——尖嘴钳

尖嘴钳也有铁柄和绝缘柄两种，绝缘柄的耐压为 500V，其外形如图 2-13 所示。尖嘴钳的头部尖细，适用于在狭小的空间操作、带电操作低压电气设备。

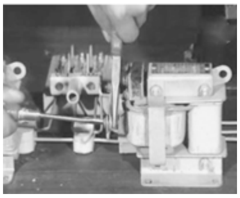
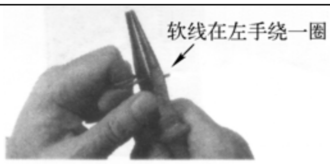
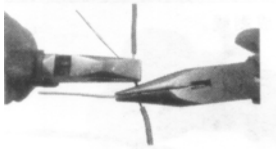
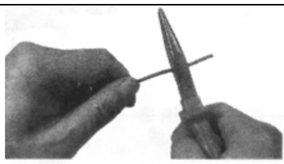
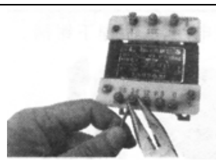


图 2-13 尖嘴钳

训练场 2——尖嘴钳的使用

尖嘴钳使用灵活方便，适用于电气仪器仪表制作或维修操作，还可以作为家庭日常修理工具。尖嘴钳的基本使用方法见表 2-1。

表 2-1 尖嘴钳的基本使用方法

用　　途	图　　示	用　　途	图　　示
辅助拆卸螺钉		制作接线鼻	
剥削软导线绝缘层		导线连接时紧线	
剪断截面较小的导线		松紧小螺母	

指点迷津——使用尖嘴钳注意事项

（1）绝缘手柄损坏时，不可用来剪切带电电线。

（2）为保证安全，带电操作时手离金属部分的距离应不小于 2cm。

（3）钳头比较尖细，且经过热处理，所以钳夹物体不可过大，用力时不要过猛，以防损坏钳头。

（4）注意防潮，钳轴要经常加油，以防止生锈。

加油站 3——剥线钳

剥线钳是用来剥削截面为 $6mm^2$ 以下的塑料或橡胶绝缘导线的绝缘层的专用工具，它由钳头和钳柄两部分组成，如图 2-14 所示。钳头部分由压线口和切口构成，分为 0.5～3m 的多个直径切口，用于剥削不同规格的芯线。

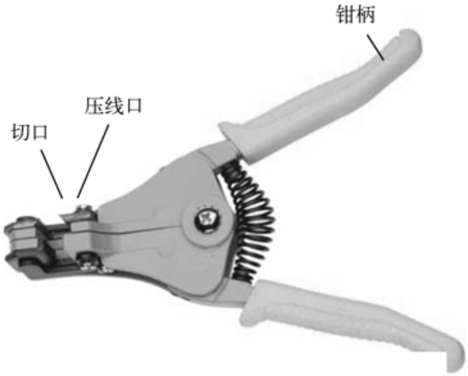


图 2-14　剥线钳

训练场 3——剥线钳的使用

（1）左手拿住导线，右手拿住钳柄。

（2）根据导线直径的大小把待剥导线的线端放入相应的切口中，预留好需要剥去绝缘层的长度。

（3）稍用力握紧钳柄，这时导线的绝缘层即被剥落，并自动弹出，如图 2-15 所示。



图 2-15　剥线钳的使用

指点迷津——使用剥线钳注意事项

（1）选择的切口直径必须大于线芯直径，即电线必须放在大于其芯线直径的切口上切剥，不能用小切口剥大直径导线，以免切伤芯线。

（2）剥线钳不能当钢丝钳使用，以免损坏切口。
（3）带电操作时，要先检查柄部绝缘是否良好，以防止触电。

指点迷津

电工钳使用口诀

电工用钳种类多，应用场合要掌握。
钳子绝缘很重要，方便带电好操作。
剪断较粗金属丝，钢丝钳子可操作。
弯绞线头旋螺母，铡切钢丝都能做。
尖嘴用来夹小件，电线成形也能做。
使用尖嘴要注意，避免嘴坏绝缘脱。
剥线要用剥线钳，线头绝缘层可剥。

2.1.3 常用旋具的使用

电工常用的旋具有螺钉旋具和螺母旋具两大类。

加油站 1——螺钉旋具的类型

螺钉旋具是一种紧固和拆卸螺钉的工具，习惯称为螺丝刀或起子，也称为改锥。



图 2-16　螺钉旋具

螺钉旋具的样式很多，按其头部形状不同，可分为一字形和十字形两大类，如图 2-16 所示。十字形起子通常称为梅花起子。

螺钉旋具按握柄材料可分为木质绝缘柄和塑胶绝缘柄。它的规格比较齐全，分十字形和一字形。金属杆的刀口端焊有磁性金属材料，可以吸住待拧紧的螺钉，能准确定位、拧紧，使用很方便，目前应用也比较广泛，如图 2-17 所示。

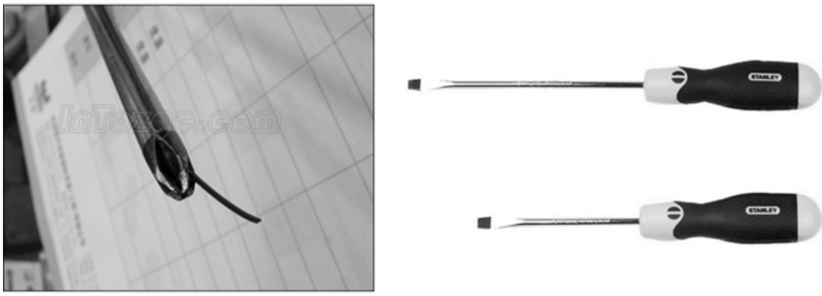
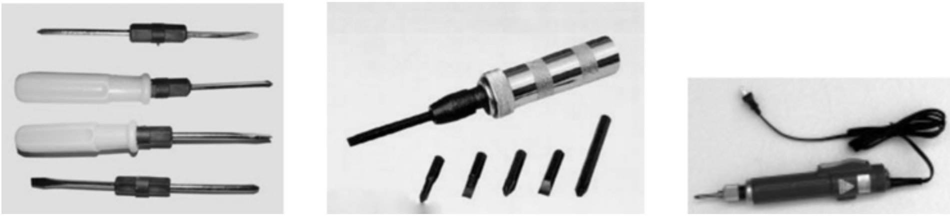


图 2-17　磁性螺钉旋具

近年来，还出现了多用组合式螺钉旋具、冲击式螺钉旋具、电动式螺钉旋具等新型工具，如图 2-18 所示，可根据需要进行选用。



（a）组合式　（b）冲击式　（c）电动式

图 2-18　新型螺钉旋具

训练场 1——螺钉旋具的使用

（1）大螺钉旋具一般用来紧固较大的螺钉。使用时，除大拇指、食指和中指要夹住握柄外，手掌还要顶住柄的末端，这样可以防止旋具转动时滑脱，如图 2-19（a）所示。

（2）小螺钉旋具一般用来紧固电气装置界限桩头上的小螺钉，使用时可用手指顶住木柄的末端捻旋，如图 2-19（b）所示。

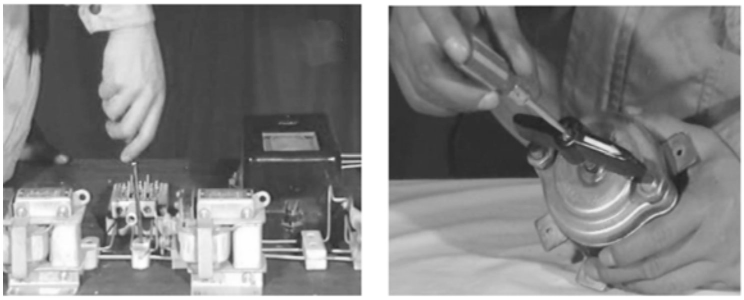


图 2-19　螺钉旋具的两种握法

（3）使用较长的螺钉旋具时，可用右手压紧并转动手柄，左手握住螺钉旋具中间部分，以使螺丝刀不滑落。此时左手不得放在螺钉的周围，以免螺丝刀滑出时将手划伤。

指点迷津——使用螺钉旋具注意事项

（1）根据不同螺钉选用不同规格的螺钉旋具。旋具头部厚度应与螺钉尾部槽形相配合，斜度不宜太大，头部不应该有倒角，否则容易打滑。一般来说，电工不可使用金属杆直通柄顶的螺钉旋具，否则容易造成触电事故。

（2）使用旋具时，需将旋具头部放至螺钉槽口中，并用力推压螺钉，平稳旋转旋具，特别要注意用力均匀，不要在槽口中蹭动，以免磨毛槽口。

（3）使用螺钉旋具紧固和拆卸带电的螺钉时，手不得触及旋具的金属杆，以免发生触电事故。

（4）不要将旋具当作錾子使用，以免损坏螺钉旋具。

（5）为了避免螺钉旋具的金属杆触及皮肤或触及邻近带电体，可在金属杆上穿套绝缘管。

（6）旋具在使用时应该使头部顶牢螺钉槽口，防止打滑而损坏槽口。同时应注意，不要用小旋具去拧旋大螺钉。否则，一是不容易旋紧，二是螺钉尾槽容易拧豁，三是旋具头部易受损。反之，如果用大旋具拧旋小螺钉，也容易造成因力矩过大而导致小螺钉滑丝现象。

指点迷津

螺钉旋具使用口诀

螺钉旋具称起子，拆装螺钉少不了。
刀口形状有多种，一字、十字不可少。
根据螺钉选刀口，刀口、钉槽吻合好。
规格大小要适宜，塑料、木柄随意挑。
操作起子有技巧，刀口对准螺丝槽。
右手旋动起子柄，左扶螺钉不偏刀。
小刀拧小螺丝时，右手操作有奥妙。
大刀不易旋螺钉，双手操作螺丝刀。
小钉不易用手抓，刀口上磁抓得牢。
为了防止人触电，金属部分塑料套。
螺丝固定导线时，顺时方向才可靠。

加油站 2——螺母旋具

电工常用的螺母旋具有活动扳手、呆扳手和套筒扳手，这些都是用于紧固和拆卸螺母的工具。

1）活动扳手

活动扳手也称为活络扳手，是用来紧固和起松螺母的一种专用工具。电工最常用的螺母旋具就是活动扳手。

活动扳手由头部和柄部两大部分组成，头部由活动扳唇、呆扳唇、扳口、蜗轮和轴销等构成，如图 2-20 所示。

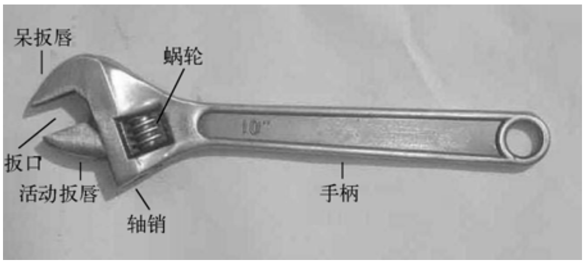


图 2-20　活动扳手

活动扳手的规格以长度和最大开口宽度（单位为 mm，下同）来表示，电工常用的活动扳手有 150mm×19mm（6 英寸）、200mm×24mm（8 英寸）、250mm×30mm（10 英寸）和 300mm×36mm（12 英寸）四种规格。

2）呆扳手

呆扳手也称为开口扳手或死扳手，呆扳手的开口宽度是固定的，有单端开口和两端开口两种形式，分别称为单头扳手和双头扳手，如图 2-21 所示。



（a）单头扳手



（b）双头扳手

图 2-21　呆扳手

单头扳手的规格是以开口宽度表示的，双头扳手的规格是以两端开口宽度表示的，如 8×10、32×36 等。

3）套筒扳手

套筒扳手简称套筒，是由一套尺寸不等的梅花筒和一些附件组成的，如图 2-22 所示。套筒扳手适用于一般扳手难以接近螺钉和螺母的场合，专门用于扳拧六角螺帽的螺纹紧固件。使用时，用弓形的手柄连续转动，工作效率较高。



（a）三叉套筒



（b）组合套筒

图 2-22　套筒扳手

套筒扳手一般都附有一套各种规格的套筒头和摆手柄、接杆、万向接头、旋具接头、弯头手柄等，用来套入六角螺帽。套筒的内六棱尺寸根据螺栓的型号依次排列，可以根据需要选用。操作时，根据作业需要更换附件、接长或缩短手柄。有的套筒扳手还带有棘轮装置，当扳手沿顺时针方向转动时，棘轮上的止动牙带动套筒一起转动；当扳手沿逆时针方向转动时，止动牙在棘轮的作用下除了省力以外，还使扳手不受摆动角度的限制。要增加它的使用寿命，切记不可超负荷使用。当扳手超负荷使用时，会在突然断裂之前先出现柄部弯曲变形。

训练场 2——活动扳手的使用

（1）旋动蜗轮可调节扳口大小，使用时应根据螺母的大小来调节扳口的宽度，如图 2-23 所示。

（2）扳动大螺母时，常用较大的力矩，手应握在近柄尾处，手越靠后，扳动起来越省力。

（3）扳动小螺母时，因需要不断地转动蜗轮，调节扳口的大小，所以手要握在靠近呆扳唇处，并用大拇指调制蜗轮，以适应螺母的大小。



图 2-23　调节扳口宽度

指点迷津——使用活动扳手注意事项

（1）活动扳手的扳口夹持螺母时，呆扳唇在上，活动扳唇在下。活扳手切不可反过来使用，以免损坏活动扳唇。

（2）不得把活动扳手当锤子用。

（3）不可用钢管接长来施加较大的扳拧力矩。

指点迷津

活动扳手使用口诀

使用扳手应注意，大小螺母握手异。
呆唇在上活唇下，不能反向用力气。
扳大螺母手靠后，扳动起来省力气。
扳小螺母手靠唇，扳口大小可调制。
夹持螺母分上下，莫把扳手当锤使。
生锈螺母滴点油，拧不动时莫乱施。

2.1.4　电工刀的使用

加油站——电工刀介绍

电工刀是电工常用的一种切削工具，适合在装配及维修工作中剥削电线绝缘外皮，切削木桩、切断绳索等。

普通电工刀由刀片、刀刃、刀把、刀挂等构成。不用时，把刀片收缩到刀把内。电工刀的尺寸有大小两种型号，它的外形及结构如图 2-24 所示。

电工刀的刀刃部分要磨得锋利才好剥削电线，但不可太锋利，若太锋利，则容易削伤线芯；磨得太钝，则无法剥削绝缘层。磨刀刃一般采用磨刀石或油磨石，磨好后再将底部磨点倒角，即刃口略微圆一些。

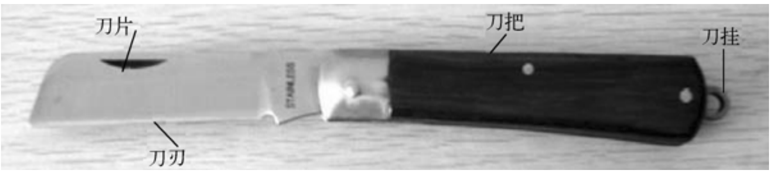


图 2-24　电工刀

中转站——多功能电工刀

多功能电工刀，除了有刀片外，还有锯片、通针、扩孔锥、螺钉旋具、尺子、剪子等工具，使用非常方便。

如图 2-25（a）所示的多功能电工刀除了刀片外，还有锯片、锥子、扩孔锥等。在硬杂木上拧螺钉很费劲时，可先用多功能电工刀上的锥子锥个洞，这时拧螺钉便省力多了。在圆木上需要钻穿线孔，可先用锥子钻出小孔，然后用扩孔锥将小孔扩大，以利于较粗的电线穿过。锯片可用来锯割木条、竹条，制作木榫、竹榫。

如图 2-25（b）所示的多功能电工刀，除了刀片以外，还带有锯子、尺子、剪子和开啤酒瓶盖的开瓶扳手。电线、电缆的接头处常采用塑料或橡皮带等作加强绝缘，可用电工刀上的剪子剪断。电工刀上的钢尺，可用来检测电器尺寸。



（a）四功能电工刀



（b）七功能电工刀

图 2-25　多功能电工刀

训练场——电工刀剥削导线绝缘层

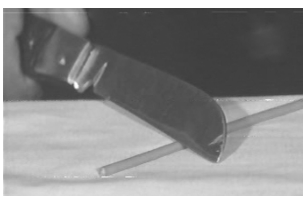
用电工刀剥削导线绝缘层的操作方法如图 2-26 所示。



（a）打开刀片



（b）握法



（c）剥削导线



（d）关闭刀片

图 2-26　电工刀剥削导线

指点迷津——使用电工刀注意事项

（1）使用电工刀时，刀口一定要朝向人体外侧，切勿用力过猛，以免不慎划伤手指。
（2）电工刀的手柄一般是不绝缘的，因此严禁用电工刀带电操作电气设备。
（3）一般情况下，不允许采用锤子敲打刀背的方法来剖削木桩等物品。

指点迷津

电工刀使用口诀

电工刀柄不绝缘，带电导线不能削。
剥削导线绝缘层，刀口应向外使用。
刀片长度三规格，功能一般分两种。
单用刀与多功能，后者可锯、锥、扩孔。
使用刀时应注意，防伤线芯要牢记。
刀刃圆角抵线芯，可把刀刃微翘起。
切剥导线绝缘层，电工刀要倾斜入。
接近线芯停用力，推转一周刀快移。
刀刃锋利好切剥，锋利伤线也容易。
使用完毕保管好，刀身折入刀柄内。

2.1.5 压接钳的使用

加油站 1——压接钳的作用及类型

压接钳又称为压线钳，是一种用冷压的方法来连接大截面铜、铝导线的专用工具，特别是在铝绞线和钢芯铝绞线敷设施工中常常需要用到它。

常见的压接钳有手压式、油压式和电动式 3 种，如图 2-27 所示。电工最常用的是手压式和油压式。一般来说，导线截面为 $35mm^2$ 及以下用手压钳，$35mm^2$ 以上用油压钳。



（a）手压式　（b）油压式　（c）电动式

图 2-27　导线压接钳

加油站 2——手压式压接钳

手压式压接钳适用于输配电室内、室外工程，如图 2-28 所示，它由钳头和钳柄两部分组

成，钳头由阳模、阴模和定位螺钉等构成。阴模需要随不同规格的导线而选配。

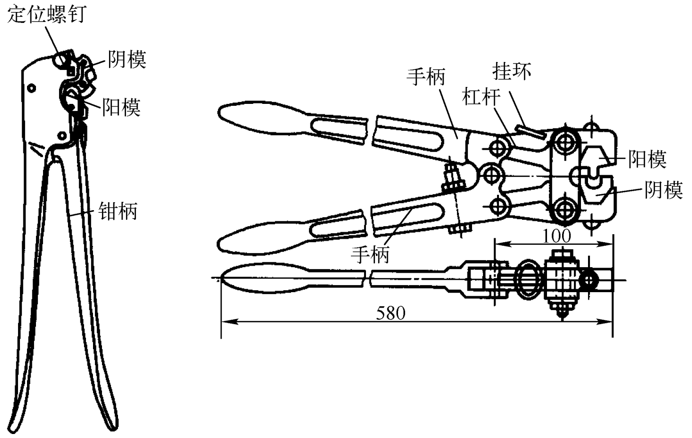
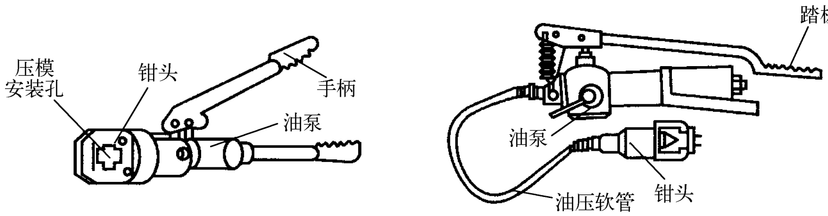


图 2-28　手压式压接钳的结构

加油站 3——油压式铝导线压接钳

油压式铝导线压接钳适用于输配电室内、室外工程中的各种接续金具、架空地下电缆线等专业使用，其结构如图 2-28 所示。



手动油压钳　　　脚踏油压钳

图 2-29　油压式压接钳的结构

油压式铝导线压接钳的使用方法与手压式压接钳的使用方法基本一致。

训练场 1——手压式压接钳连接铝芯电线（直线连接）

铝芯多（单）股电线直线连接方法如图 2-30 所示。

（1）根据导线截面选择压模和椭圆形铝套管。

（2）把连接处的导线绝缘护套剥除，剥除长度应为铝套管长度一半加上 5～10mm（裸铝线无此项），用钢丝刷刷去芯线表面的氧化层（膜）。

（3）用另一清洁的钢丝刷蘸一些凡士林锌粉膏均匀地涂抹在芯线上，以防氧化层重生。注意：凡士林锌粉膏有毒，切勿与皮肤接触。

（4）用圆条形钢丝刷消除铝套管内壁的氧化层及油垢，最好也在管子内壁涂上凡士林锌粉膏。

（5）把两根芯线相对地插入铝套管，使两个线头恰好在铝套管的正中连接。

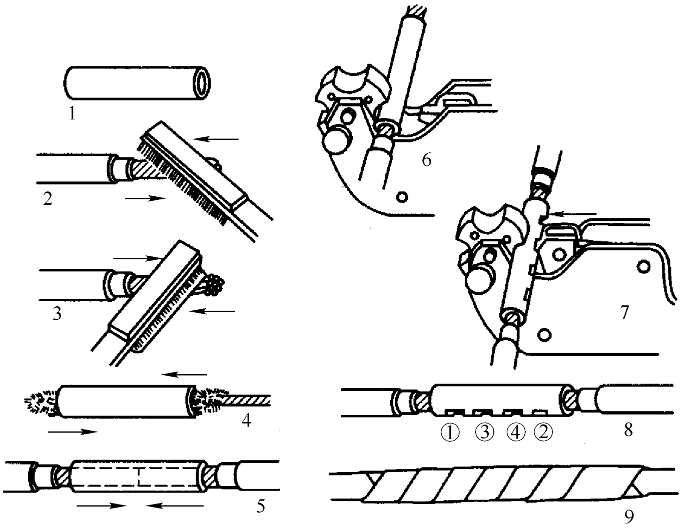


图 2-30　铝芯多（单）股电线直线压接操作步骤示意图

（6）根据铝套管的粗细选择适当的线模装在压接钳上，拧紧定位螺钉后，把套有铝套管的芯线嵌入线模。

（7）对准铝套管，用力捏夹钳柄，进行压接。先压两端的两个坑，再压中间的两个坑，压坑应在一条直线上。接头压接完毕后，要检查铝套管弯曲度不应大于管长的 2%，否则要用木锤校直；铝套管不应有裂纹；铝套管外面的导线不得有“灯笼”形鼓包或“抽筋”形不齐等现象。

（8）擦去残余的油膏，在铝套管两端及合缝处涂刷一层快干的沥青漆。然后在铝套管及裸露导线部分先包两层黄蜡带，再包两层黑胶布，一直包到绝缘层 20mm 的地方。

训练场 2——手压式压接钳连接铝芯电线（与接线桩头连接）

铝芯多（单）股电线与设备的螺栓压接式接线桩头的连接方法如图 2-31 所示。

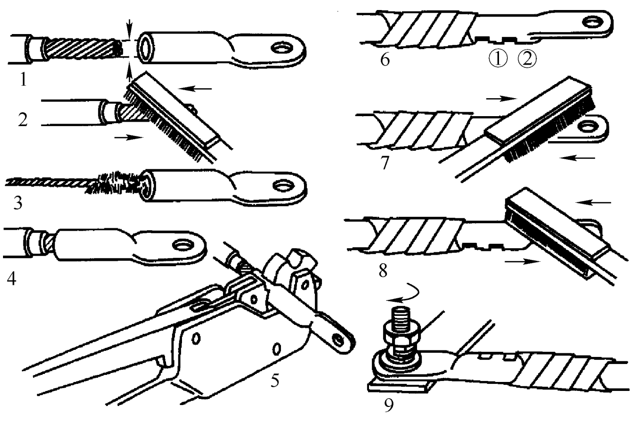


图 2-31　铝芯多（单）股电线与设备的接线桩头压接操作步骤示意图

（1）根据芯线的粗细选用合适的铝质接线耳。

（2）刷去芯线表面的氧化层，均匀地涂上凡士林锌粉膏。

（3）把接线耳插线孔内壁的氧化层也刷去，最好也在内壁涂上凡士林锌粉膏。

（4）把芯线插入接线耳的插线孔，要插到孔底。

（5）选择适当的线模，在接线耳的正面压两个坑，先压外坑，再压里坑，两个坑要在一条直线上。

（6）在接线耳根部和电线剖去绝缘层之间包缠绝缘带（绝缘带要从电线绝缘层包起）。

（7）刷去接线耳背面的氧化层，并均匀地涂上凡士林锌粉膏。

（8）使接线耳的背面向下，套在接线桩头的螺钉上，然后依次套上平垫圈和弹簧垫圈，用螺母紧紧地固定。

指点迷津——使用压接钳注意事项

（1）压接时，钳口、导线和冷压端头的规格必须相配。

（2）压接钳的使用必须严格按照其使用说明正确操作。

（3）压接时，必须使端头的焊缝对准钳口凹模。

（4）压接时，必须在压接钳全部闭合后才能打开钳口。

2.1.6　临时接地线的使用

加油站 1——临时接地线的作用

临时接地线也叫工作接地线，是检修配电线路或电气设备时的一种临时接地装置，用于线路和变电施工，防止临近带电体产生静电感应触电或误合闸时保证安全，它是保护检修人员的第一道安全屏障，可防止临近带电体产生静电感应触电或误合闸时突然来电对人体的伤害。

加油站 2——临时接地线的种类

常用的临时接地线有线路/分相式、变电式（平夹）、线路/合相式、线路式（圆夹，挂钩）4 种，如图 2-32 所示。



（a）线路/分相式　（b）变电式　（c）线路/合相式　（d）线路式

图 2-32　常用临时接地线

加油站 3——临时接地线的基本结构

临时接地线主要由导线弯钩线夹（或母排平口线夹）、跨接短路线接地尾线、接线鼻、汇

流管、接地端线夹（或五防闭锁夹头）、接地钢钎及接地操作棒等组成。

（1）线夹采用优质热铜（或熟铝）压铸，表面抛光，与线鼻紧固连接。

（2）接地软铜线采用多股优质软铜线绞合而成，并外覆柔软、耐高温的透明绝缘护层，可以防止使用中对接地铜线的磨损，铜线应达到疲劳度测试需求，以确保作业人员在操作中的安全。

（3）接地棒一般采用机械强度及绝缘性能俱佳的玻璃纤维环氧树脂管，按类型需求进行配制。接地棒一般分为户内和户外两种，户内接地棒一般长为50cm，户外接地棒一般为100cm，外径均为3.2cm。

中转站——临时接地线装设要求

（1）在停电设备与可能送电至停电设备的带电设备之间，或者在可能产生感应电动势的停电设备上，都要装设接地线，如图2-33所示。接地线与带电部分的距离应符合安全距离的要求，防止因摆动发生带电部分与接地线放电的事故。



图2-33　临时接地线装设示例

（2）检修母线时，应根据母线的长短和有无感应电动势的实际情况确定接地线的数量。检修离地面10m以下的母线可只装设一组接地线。在门形架构的线路侧检修，如果工作地点与所装设接地线的距离小于10m，则虽然工作地点在接地线的外侧，也不再另外装设接地线。

（3）若检修设备为几个电气上不相连的部分（如分段母线以隔离开关或断路器分段），则各部分均应装接地线。

（4）接地线应挂在工作人员看得见的地方，但不得挂设在工作人员的跟前，以防突然来电时烧伤工作人员。

（5）单人值班站装拆接地线应在有人监护下进行。



训练场——临时接地线挂、拆操作

（1）必须根据当值调度员的命令，两人一起进行工作。装设携带型短路接地线应在停电之后，先验电确认已停电，在设备上确认无电压后进行，应立即将设备三相短路并接地。工作设备有几个方面可能来电，就应挂设几组接地线。

（2）必须戴绝缘手套、穿绝缘鞋（靴）和使用绝缘拉杆。

（3）挂接地线应遵循的顺序：先接接地端，后挂导体端，且要接触牢固。即先将接地极棒插入地面以下0.6m，后挂导体端。

（4）对同杆塔多层电力线路进行检修时，接地线的装设应先低压后高压；先下层后上层；先近端后远端。

（5）接地线的拆除顺序与装设顺序相反。

室外开关、主变检修装拆接地线，必须借助木梯或小爬梯才能将接地线挂上或拆除。

指点迷津——接地线使用注意事项

装设临时接地线是一项重要的电气安全技术措施，其操作过程应该严肃、认真、符合技术规范要求，千万不可马虎大意。挂接地线是在停电后所采用的安全预防措施，若不使用或不正确使用接地线，往往会加大事故发生的概率。因此，要正确使用接地线，规范装、拆接地线的行为，自觉培养严谨的安全工作作风，提高自身的安全素质，才能拒危险隐患于千里之外，才能避免由于接地线原因引起的电气事故。

在实际工作中，接地线的使用应注意以下事项。

（1）工作之前必须检查接地线。查看软铜线是否断头，螺钉连接处有无松动，线钩的弹力是否正常，不符合要求应及时调换或修好后再使用。

（2）挂接地线前必须先验电。验电的目的是确认现场是否已停电，能消除停错电、未停电等人为失误，防止带电挂接地线。

（3）在工作段两端，或有可能来电的支线（含感应电、可能倒送电的自备电）上挂接地线。在实际工作中，常忽略用户倒送电、感应电的可能，深受其害的例子不少。

（4）在打接地桩时，要选择粘结性强、有机质多、潮湿的实地表层，避开过于松散、坚硬风化、回填土及干燥的地表层，目的是降低接地回路的土壤电阻和接触电阻，能快速疏通事故大电流，保证接地质量。

（5）不得将接地线挂在线路的拉线或金属管上。因为其接地电阻不稳定，往往太大，不符合技术要求，还有可能使金属管带电，给他人造成危害。

（6）要爱护接地线。接地线在使用过程中不得扭花，不用时应将软铜线盘好。接地线在拆除后，不得从空中丢下或随地乱摔，要用绳索传递。注意接地线的清洁工作，预防泥沙、杂物进入接地装置的孔隙之中，从而影响正常使用的零件。

（7）按不同电压等级选用对应规格的接地线。这也是容易发生习惯性违章之处，地线的线径要与电气设备的电压等级相匹配，才能通过事故大电流。

（8）禁止将接地线夹接在表面油漆过的金属构架或金属板上。这是在电气一次设备场所挂接地线时常见的违章现象。虽然金属与接地系统相连，但油漆表面是绝缘体，油漆厚度的耐压达 10kV/mm，可使接地回路不通，失去保护作用。

（9）严禁使用其他金属线代替接地线。其他金属线不具备通过事故大电流的能力，接触也不牢固，故障电流会迅速熔化金属线，断开接地回路，危及工作人员生命。

（10）现场工作不得少挂接地线或者擅自变更挂接地线地点。接地线的数量和挂接点都是工作前经过慎重考虑的，少挂或变换接地点，都会使现场保护作用降低，使人处于危险的工作状态。

（11）接地线具有双刃性，它具有安全保护的作用，但使用不当也会产生破坏效应，所以工作完毕要及时拆除接地线。带接地线合开关会损坏电气设备和破坏电网的稳定，导致严重的恶性电气事故。

（12）接地线应存放在干燥的室内，由专人定点保管、维护，并编号造册，定期检查记录。应注意检查接地线的质量，观察外表有无腐蚀、磨损、过度氧化、老化等现象，以免影响接地线的使用效果。

2.1.7 高压验电器的使用

加油站 1——高压验电器的作用

高压验电器也称为高压测电器，使用高压验电器是保证在全部停电或部分停电的电气设备上工作人员安全的重要技术措施之一。

高压验电器主要用来检测高压架空线路、电缆线路、高压用电设备是否带电。

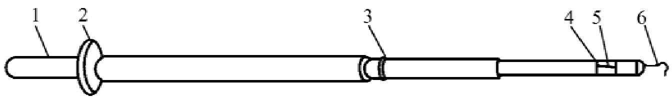
高压验电器是变电所常用的最基本的安全用具，它一般以辉光作为指示信号；新式高压验电器，也有靠音响或语言作为指示的。

加油站 2——高压验电器的种类、结构及特点

高压验电器主要有发光型高压验电器、声光型高压验电器、高压电磁感应风车旋转验电器等类型。

1）发光型高压验电器

发光型高压验电器由握柄、护环、紧固螺钉、氖管窗、氖管和金属探针（钩）等部分组成。如图 2-34 所示为发光型 10kV 高压验电器的结构。



1—握柄；2—护环；3—紧固螺钉；4—氖管窗；5—氖管；6—金属探针

图 2-34　发光型高压验电器的结构

发光型高压验电器结构简单，在日光照射条件下验电容易误判，现在很少使用这种验电器。

2）声光型高压验电器

现在广泛使用的是棒状伸缩型声光双重显示高压验电器，如图 2-35 所示。它一般由检测部分、绝缘部分、握手部分三大部分组成。



图 2-35　声光型高压验电器

声光双重显示型高压验电器具有以下优点。

（1）验电灵敏度高。不受阳光、噪声影响，白天、黑夜，户内、户外均可使用。

（2）抗干扰性强，内设过压保护，温度自动补偿，具备全电路自检功能。

（3）内设电子自动开关，电路采用集成电路屏蔽，保证在高电压、强电场下集成电路安全

可靠地工作。

（4）报警发声指示强度高（1m 处 70dB，25m 处可闻），超高亮度红色闪光指示强度（红色闪光 15m 外直接光照可见），避免了工作人员的误操作，以保障人身安全。

（5）验电器外壳为 ABS 工程塑料，伸缩操作杆由环氧树脂玻璃钢管制造。

（6）产品结构一体，使用存放方便。

3）风车旋转闪光报警式验电器

如图 2-36 所示为风车旋转闪光报警式验电器，它由检测部分（指示器部分及风车）、绝缘部分、握手部分三大部分组成。绝缘部分是指自指示器下部金属衔接螺钉起至罩护环止的部分，握手部分指罩护环以下的部分。其中绝缘部分、握手部分根据电压等级的不同其长度也不相同。



图 2-36　高压电磁感应风车旋转验电器

虽然声光型电子式验电器灵敏度高，但是在农网检修时，由于输配电网络大，交叉、跨越、平行线路、电缆线路及风、电感应比较多，即使工作地点确已停电，但如果电子式验电器调整得不好，还是会发出报警信号，有时将交叉、跨越、平行线路都停电，电子验电器仍然会发报警信号，使工作人员不能正常工作。而风车旋转闪光报警式验电器报警电压高，同时有风车旋转、闪光灯闪光及声音报警 3 种信号，比较明显，所以对于农村的电工来说，风车旋转闪光报警式验电器是比较实用的。

加油站 3——高压验电的技术要求

（1）高压验电时，由两人进行，一人监护，一人操作，操作人员必须戴绝缘手套、穿绝缘鞋（靴）。

（2）先在有电的设备上检查验电器，应确保良好。

（3）雨天室外验电，禁止使用普通（不防水）的验电器或绝缘拉杆，以免受潮闪络或沿表面放电，引起事故。

（4）验电时，必须使用试验合格、在有效期内、符合该系统电压等级的验电器。特别要禁止不符合系统电压等级的验电器混用。因为在低压系统使用电压等级高的验电器，有时有电也可能验不出来，因此操作人员的安全得不到保证。

（5）在停电设备的两侧（如断路器的两侧，变压器的高、低压侧等）及需要短路接地的部位，必须分相进行验电。

（6）同杆架设的多层线路验电时，应先验低压，后验高压；先验下层，后验上层。

加油站 4——使用高压验电器的注意事项

（1）在使用前应检查高压验电器的各种配件是否完好、绝缘是否符合要求。室外使用高压验电器，必须在天气良好的情况下进行。

需要特别说明的是，在使用高压验电器验电前，一定要认真阅读使用说明书，检查验电器是否超周期、外表是否损坏、破伤。例如，GDY 型高压风车验电器在从包中取出时，首先应观察电转指示器叶片是否有脱轴现象，警报是否发出音响，脱轴者不得使用，然后将电转指示器在手中轻轻摇晃，其叶片应稍有摆动，证明良好，如图 2-37 所示。然后检查报警部分，确保音响良好。对于 GSY 型系列高压声光验电器，在操作前应对指示器进行自检试验，然后再将指示器旋转固定在操作杆上，并将操作杆拉伸至规定长度，再作一次自检后才能使用。



图 2-37　检查高压验电器

（2）验电时，操作人员一定要戴绝缘手套，穿绝缘靴，防止跨步电压或接触电压对人体的伤害。操作人员应手握罩护环以下的握手部分，不要超过保护环，如图 2-38 所示。



（a）正确握法　　（b）错误握法

图 2-38　高压验电器的握法

（3）对线路的验电应逐相进行。测试时，应逐渐靠近被测体，有声、光指示即可停止操作；若逐渐靠近被测体，直至触及被测体，仍然没有声、光指示，则说明被测体不带电，如图 2-39 所示。



图 2-39　使用高压验电器验电

（4）测试时，操作人员最好站在高压绝缘垫上，并且一人测试，一人监护；操作者在前，监护人在后，以防止发生相间或对地短路事故。人与带电体应保持足够的安全距离。

（5）对同杆塔架设的多层电力线路进行验电时，其操作顺序为：先验低压，后验高压；先验下层，后验上层。

（6）验电操作，一是要态度认真，克服可有可无的思想，避免因走过场而流于形式；二是验电要掌握正确的判断方法和要领。

（7）高压验电器不能检测直流电压。

（8）高压验电器在保管和运输中，不要使其强烈振动或受冲击，禁止擅自调整拆装，凡有雨雪等影响绝缘性能的环境，一定不能使用。不要将其放在露天烈日下暴晒，应保存在干燥通风处，不要用带腐蚀性的化学溶剂和洗涤剂进行擦拭或接触。

（9）高压验电器每半年应进行一次预防性试验。

训练场——高压验电操作

（1）验电时操作人员应戴绝缘手套，手握在罩护环以下的握手部位，先按一下验电指示器的自检按钮，指示器应发出间歇式声、光指示信号，证明验电指示器本身完好。

（2）将验电指示器旋转装于操作杆第一节端部（最上一节顶端），第一节尾部插孔处用接地连线插入并接地。

（3）将操作杆缓缓升起，渐渐将验电器移近待测设备，直至触及设备导电部位，在此过程中若一直无声、光指示，则可判定该设备不带电；反之，如果在移近过程中突然发光或发声，则认为该设备带电，即可停止移近，结束验电。

指点迷津——验电时判断有无电压的方法

（1）试验验电器，不必直接接触带电导体。通常验电器清晰发光的电压不大于额定电压的 25%。因此，完好的验电器只要靠近带电体（6kV、10kV 及 35kV 系统分别约为 150mm、250mm 及 500mm），就会发光、报警或使感应风车旋转。

（2）在 35kV 及以上的线路和设备上验电时，要防止钩住或顶着导体。室外设备架构高，用绝缘拉杆验电，只能根据有无火花和放电声判断设备是否带电，不直观，难度大。白天，

火花看不清，主要靠听放电声。变电所背景噪声很大，思想稍不集中，极易做出错误判断。因此，操作方法很重要。验电时若绝缘拉杆钩住或顶着导体，即使有电也不会有火花和放电声，因为实接不具备放电间隙。正确的方法是绝缘拉杆与导体应保持虚接或在导体表面来回蹭，若设备有电，通过放电间隙就会产生火花和放电声，如图 2-40 所示。

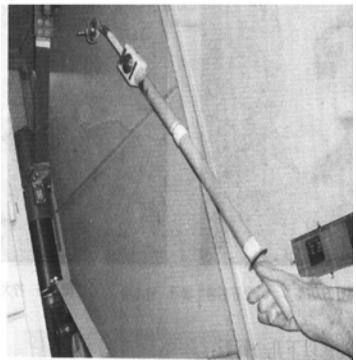


图 2-40　判断有无电压的方法

（3）在被检测线路和设备上进行检测时，验电器应慢慢移近设备，直到接触触头导电部分。在此过程中若一直无声、光指示，则可判断为无电；否则，即可知带电。

指点迷津

高压验电操作口诀

高压验电有危险，验电程序有规范。
手套胶靴安全帽，着装要求不违犯。
验前设备先自检，以免测试时误判。
清楚电压选验器，雨雪莫在室外验。
手握手柄站姿端，一人监护一人验。
先下后上再低高，验电顺序不能乱，
舍近求远可不好，每相必须一一验。
验时伸手速度慢，闪光音响细分辨。
安全距离不可减，验电 5s 不过限。
验后设备应放电，验前不得接地线。

中转站——用高压验电器区分有电、静电和感应电

（1）有电：因工作电压的电场强，验电器靠近导体一定距离，就发光（或报警），显示设备有电。验电器离带电体越近，亮度（或声音）就越强。操作人员应细心观察，掌握这一点对判断设备是否带电很重要。

（2）静电：对地电位不高，电场微弱，验电时验电器不亮。与导体接触后，有静电时才发光；随着导体上的静电荷通过验电器→人体→大地放电，验电器亮度由强变弱，最后熄灭。停电后，在长度较长的高压电缆上验电时，就会遇到这种现象。

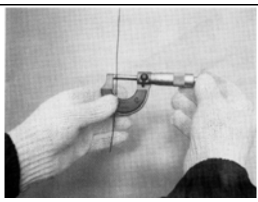
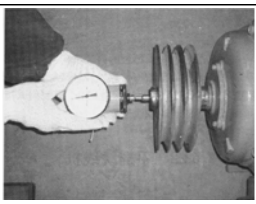
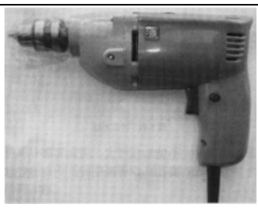
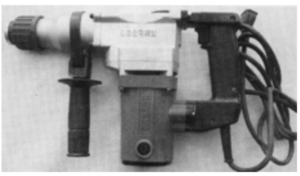
（3）感应电：与静电差不多，电位较低，绝大多数情况下验电时验电器不亮。

2.1.8　其他常用电工工具的使用

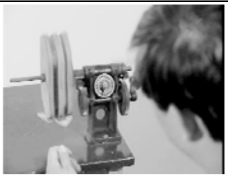
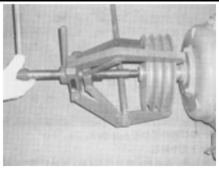
加油站——其他常用电工工具操作要点

电工操作需要使用的工具比较多，下面简要介绍几种比较常用的电工工具，见表 2-2。

表 2-2　其他电工工具及其操作要点

名　　称	图　　示	操 作 要 点
钢锯		钢锯是用来锯割物件的工具。安装锯条时，锯齿要朝前方，锯弓要上紧。锯条一般分为粗齿、中齿和细齿 3 种。粗齿适用于锯削铜、铝和木板材料等，细齿一般可锯较硬的铁板及穿线铁管和塑料管等
千分尺		千分尺是电工用于测量漆包线外径的专用工具。使用时，将被测漆包线拉直后放在千分尺砧座和测微杆之间，然后调整微螺杆，使之刚好夹住漆包线，此时就可以读数了。读数时，先看千分尺上的整数读数，再看千分尺上的小数读数，二者相加即为铜漆包线的直径尺寸。千分尺整数刻度一般 1 小格为 1mm，旋转小数刻度一般每格为 0.01mm
转速表		转速表用于测试电气设备的转速和线速度。使用时，要先用眼观察电动机转速，大致判断其速度，然后把转速表的调速盘转到所要测的转速范围内。若没有把握判断电动机转速，要将速度盘调到高位观察，确定转速后，再向低挡调，以使测试结果准确。测量转速时，手持转速表要保持平衡，转速表测试轴与电动机轴要保持同心，逐渐增加接触力，直到测试指针稳定时再记录数据
手电钻		手电钻是用于钻孔的电动工具。在装钻头时要注意钻头与钻夹保持在同一轴线，以防钻头在转动时来回摆动。在使用过程中，钻头应垂直于被钻物体，用力要均匀，当钻头被被钻物体卡住时，应立即停止钻孔，检查钻头是否卡得过松，重新紧固钻头后再使用。钻头在钻金属孔过程中，若温度过高，很可能引起钻头退火，为此，钻孔时要适量加些润滑油
电锤		电锤是用于钻孔的电动工具。电锤使用前应先通电空转一会儿，检查转动部分是否灵活，待检查电锤无故障时方能使用；工作时应先将钻头顶在工作面上，然后再启动开关，尽可能避免空打孔；在钻孔过程中，发现电锤不转时应立即松开开关，检查出原因后再启动电锤。用电锤在墙上钻孔时，应先了解墙内有无电源线，以免钻破电线发生触电。在混凝土中钻孔时，应注意避开钢筋
喷灯		在使用喷灯前，应仔细检查油桶是否漏油，喷嘴是否堵塞、漏气等。根据喷灯规定使用的燃料油的种类，加注相应的燃料油，其油量不得超过油桶容量的 3/4，加油后应拧紧加油处的螺塞。喷灯点火时，喷嘴前严禁站人，且工作场所不得有易燃物品。点火时，在点火碗内加入适量燃料油，用火点燃，待喷嘴烧热后，再慢慢打开进油阀；打气加压时，应先关闭进油阀。同时，要注意火焰与带电体之间的安全距离

续表

名　称	图　示	操作要点
手摇绕线机		手摇绕线机主要用来绕制电动机的绕组、低压电器的线圈和小型变压器的线圈。使用手摇绕线机时要注意： （1）要把绕线机固定在操作台上； （2）绕制线圈要记录开始时指针所指示的匝数，并在绕制后减去该匝数
拉具		拉具是用于拆卸皮带轮、联轴器及电动机轴承、电动机风叶的专用工具。使用拉具拉电动机皮带轮时，要将拉具摆正，丝杆对准机轴中心，然后用扳手上紧拉具的丝杠，用力要均匀。在使用拉具时，如果所拉的部件与电动机轴间锈死，要在轴的接缝处浸些汽油或螺栓松动剂，然后用铁锤敲击皮带轮外圆或丝杆顶端，再用力向外拉皮带轮
脚扣		脚扣是用于电力杆塔的攀登工具。使用前，必须检查弧形扣环部分有无破裂、腐蚀，脚扣皮带有无损坏，若已损坏应立即修理或更换。不得用绳子或电线代替脚扣皮带。在登杆前，对脚扣要做人体冲击试验，同时应检查脚扣皮带是否牢固可靠。
蹬板		蹬板是用于电力杆塔的攀登工具。使用前，应检查外观有无裂纹、腐蚀，并经人体冲击试验合格后再使用；登高作业动作要稳，操作姿势要正确，禁止随意从杆上向下扔蹬板；每年对蹬板绳子做一次静拉力试验，合格后方能使用
梯子	 	梯子有人字梯和直梯，用于登高作业。使用方法比较简单，梯子要安稳，注意防滑；同时，梯子的安放位置与带电体应保持足够的安全距离
錾子		錾子是用于打孔、或对已生锈的小螺栓进行錾断的一种工具。使用时，左手握紧錾子（注意，錾子的尾部要露出约 4cm），右手握紧手锤，再用力敲打
紧线器		紧线器是在架空线路中用来拉紧电线的一种工具。使用时，将镀锌钢丝绳绕于右端滑轮上，挂置于横担或其他固定部位，用另一端的夹头夹住电线，摇柄转动滑轮，使钢丝绳逐渐卷入轮内，电线被拉紧而收缩至适当的程度

2.2　电工常用检测仪表的使用

在电气故障检修中，电工最常用的测量工具有万用表、钳形电流表、兆欧表等电工仪表。

2.2.1　万用表的使用

加油站 1——万用表的选用

万用表是最基本、最常用的电工仪表，它包括指针式万用表和数字式万用表两大类。表 2-3 列出了指针式万用表和数字式万用表的比较。

表 2-3　指针式万用表和数字式万用表的比较

项　　目	指针式万用表	数字式万用表
测量值显示线	表针的指向位置	液晶显示屏显示数字
读数情况	很直观、形象（读数值与指针摆动角度密切相关）	间隔 0.3s 左右数字有变化，读数不太方便
万用表内阻	内阻较小	内阻较大
使用与维护	结构简单，成本较低，功能较少，维护简单，过流过压能力较强，损坏后维修容易	内部结构多采用集成电路，因此过载能力较差，损坏后一般不容易修复
输出电压	有 10.5V 和 12V 等，电流比较大，可以方便地测试晶闸管、发光二极管等	输出电压较低（通常不超过 1V），对于一些电压特性特殊的元件测试不便（如晶闸管、发光二极管等）
量程	手动量程，挡位相对较少	量程多，很多数字式万用表具有自动量程功能
抗电磁干扰能力	差	强
测量范围	较小	较大
准确度	相对较低	高
对电池的依赖性	电阻量程必须有表内电池	各个量程必须有表内电池
重量	相对较重	相对轻
价格	价格差别不太大	

选用指针式万用表，主要从其准确度、灵敏度、电流表的内阻、测量功能、外观与操作方便性和过载保护装置等方面去选择。

数字式万用表的型号很多，功能差异较大，一般应重点考虑以下几个方面的问题。

（1）选择显示位数和准确度。

（2）选择万用表的功能和测量范围。

（3）选择万用表的种类，例如，普及性数字万用表、多功能型数字万用表和专用数字万用表等。

总而言之，在选择数字万用表时，要根据实际工作需要出发，在保证测量准确度、测量范围满足要求的前提下，尽可能有较多的功能，以便今后可以扩展使用。另外，还应了解其安全性能及性能价格比等因素。

加油站 2——认识 MF47 型万用表

MF47 型万用表的外部结构如图 2-41 所示，它由提把、表头、测量选择开关、欧姆挡调零旋钮、表笔插孔、晶体管插孔等组成。

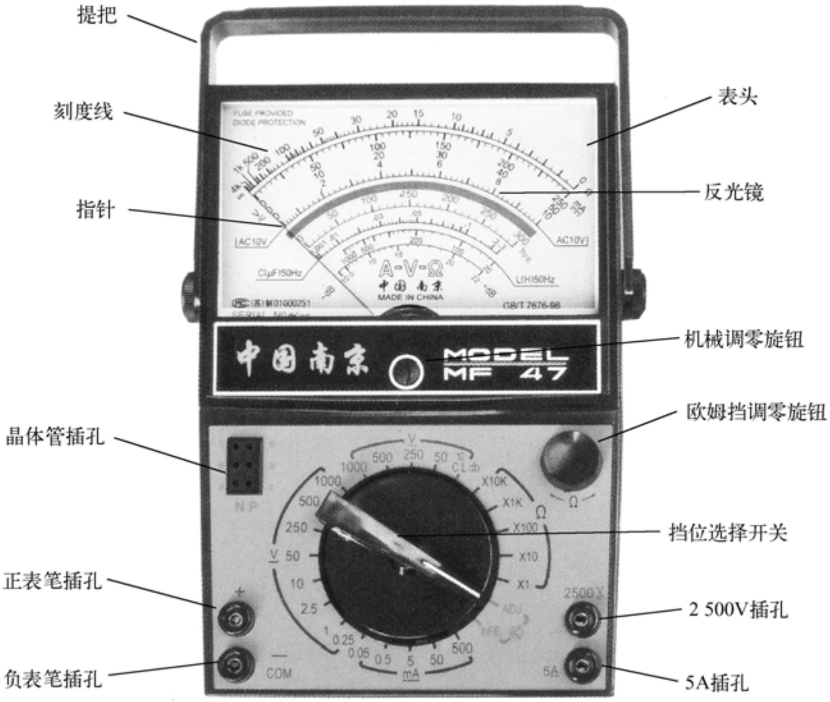


图 2-41　MF47 型万用表的外部结构

1）刻度线和反光镜

万用表面板上部为微安表头。表头的下边中间有一个机械调零器，用以校准表针的机械零位。表针下面的标度盘上共有 7 条刻度线，从上往下依次是电阻刻度线、电压电流刻度线、10V 电压刻度线、晶体管 β 值刻度线、电容刻度线、电感刻度线、电平刻度线，如图 2-42 所示。

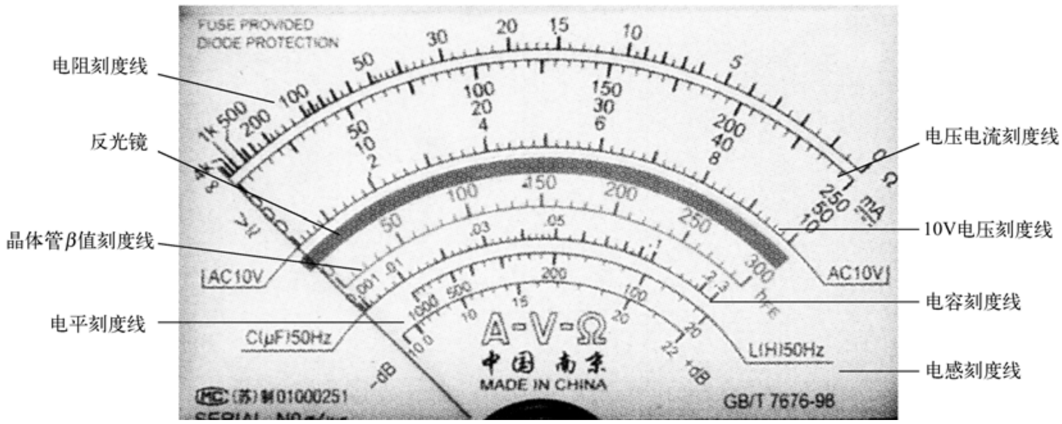


图 2-42　标度盘刻度线和反光镜

标度盘上还装有反光镜，用以消除视觉误差。

2）量程选择开关

面板下部中间是量程选择开关，只需转动一下旋钮即可选择各个量程挡位，使用方便，如图 2-43 所示。测量选择开关指示盘与表头标度盘相对应，按交流红色、晶体管绿色、其余黑色的规律印制成 3 种颜色，以免使用中出错。

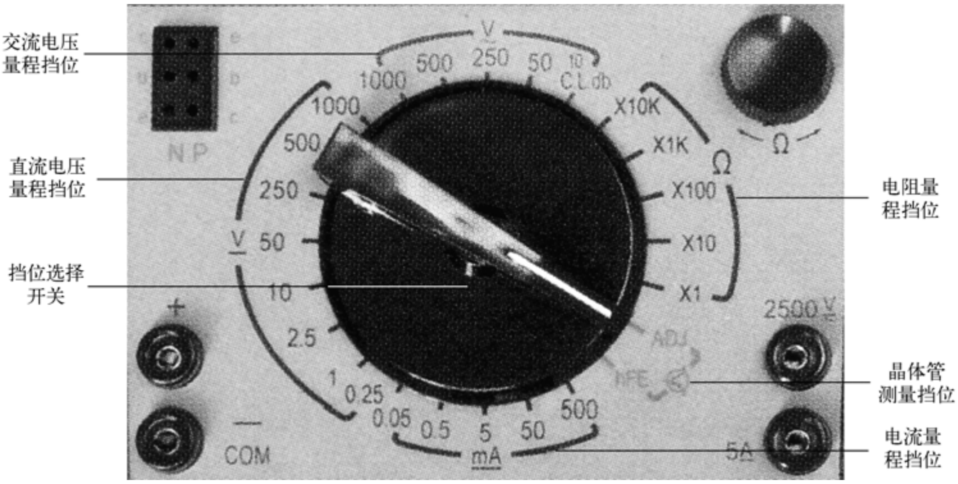


图 2-43　MF47 型万用表量程挡位

3）插孔

MF47 型万用表共有 4 个表笔插孔，如图 2-41 所示。面板左下角有正、负表笔插孔，一般习惯上将红表笔插入正插孔，黑表笔插入负插孔。面板右下角有 2 500V 和 5A 专用插孔，当测量 2 500V 交、直流电压时，正表笔应改为插入 2 500V 插孔；当测量 5A 直流电流时，正表笔应改为插入 5A 插孔。面板下部右上角是欧姆挡调零旋钮，用于校准欧姆挡“0Ω”的指针位置。面板下部左上角是晶体管插孔，插孔左边标注为“N”，检测 NPN 型晶体管时插入此孔；插孔右边标注为“P”，检测 PNP 型晶体管时插入此孔。

训练场 1——指针式万用表测量电阻

测量电阻必须使用万用表内部的直流电源。打开背面的电池盒盖，右边是低压电池仓，装入一枚 1.5V 的 2 号电池；左边是高压电池仓，装入一枚 15V 的层叠电池，如图 2-44 所示。现在也有厂家生产的 MF47 型万用表，R×10k 挡使用的是 9V 层叠电池。



图 2-44　安装电池

指针式万用表测量电阻的方法可以总结为如下口诀。

操 作 口 诀

测量电阻选量程，两笔短路先调零。

旋钮到底仍有数，更换电池再调零。

断开电源再测量，接触一定要良好。
两手悬空测电阻，防止并联变精度。
要求数值很准确，表针最好在格中。
读数勿忘乘倍率，完毕挡位电压中。

测量电阻选量程——测量电阻时，首先要选择适当的量程。选择量程时，应使测量数值尽量在欧姆刻度线的 0.1～10 之间的位置，这样读数才准确。

一般测量 100Ω以下的电阻可选“R×1Ω”挡，测量 100Ω～1kΩ的电阻可选“R×10Ω”挡，测量 1～10kΩ可选“R×100Ω”挡，测量 10～100kΩ可选“R×1kΩ”，测量 10kΩ以上的电阻可选“R×10kΩ”挡。

两笔短路先调零——选择好适当的量程后，要对表针进行欧姆调零。注意，每次变换量程之后都要进行一次欧姆调零操作，如图 2-45 所示。

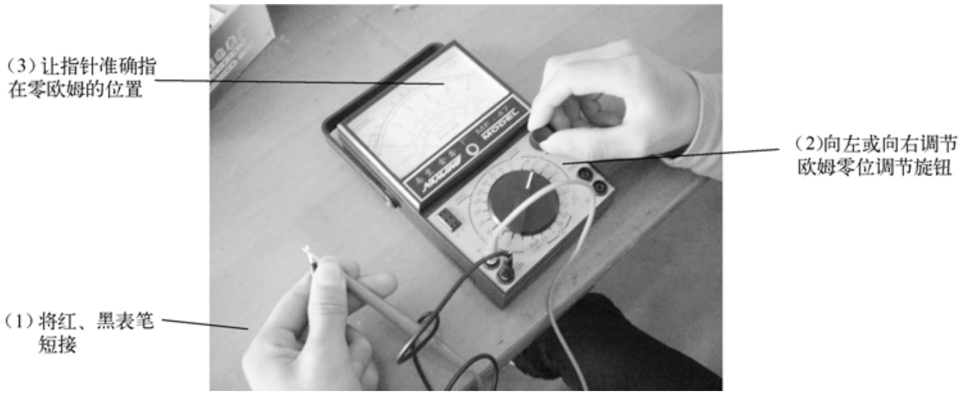


图 2-45　欧姆调零的操作方法

旋钮到底仍有数，更换电池再调零——如果欧姆调零旋钮已经旋到底了，表针始终在 0Ω线的左侧，不能指在“0”的位置，说明万用表内的电池电压较低，不能满足要求，需要更换新电池后再进行上述调整。

断开电源再测量，接触一定要良好——如果是在路测量电阻器的电阻值，必须先断开电源再进行测量，否则有可能损坏万用表。换言之，不能带电测量电阻。在测量时，一定要保证表笔接触良好（用万用表测量电路其他参数时，同样要求表笔接触良好）。

两手悬空测电阻，防止并联变精度——测量时，两只手不能同时接触电阻器的两个引脚。因为两只手同时接触电阻器的两个引脚，等于在被测电阻器的两端并联了一个电阻（人体电阻），所以将会使得到的测量值小于被测电阻的实际值，影响测量的精确度。

要求数值很准确，表针最好在格中——量程选择要合适，若太大，不便于读数；若太小，无法测量。只有表针在标度尺的中间部位时，读数最准确。

读数勿忘乘倍率——读数乘以倍率（所选择挡位，如 R×10、R×100 等），就是该电阻的实际电阻值。例如，选用 R×100 挡测量，指针指示为 40，则被测电阻值为：

$$40\times100\Omega=4\,000\Omega=4\text{k}\Omega$$

完毕挡位电压中——测量工作完毕后，要将量程选择开关置于交流电压最高挡位，即交流 1 000V 挡位。

训练场 2——指针式万用表测量交流电压

测量 1 000V 以下交流电压时，将挡位选择开关置于所需的交流电压挡，如图 2-46 所示。测量 1 000～2 500V 的交流电压时，将挡位选择开关置于“交流 1 000V”挡，正表笔插入“交直流 2 500V”专用插孔。

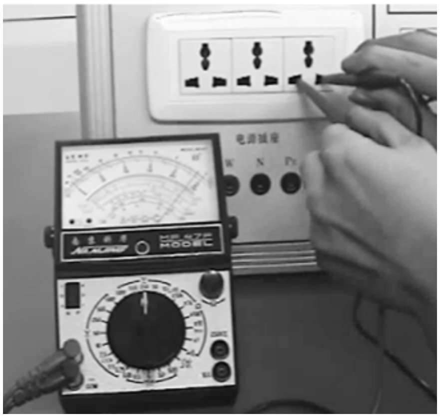


图 2-46　万用表测量交流电压挡

指针式万用表测量交流电压的方法及注意事项可归纳为以下口诀。

操 作 口 诀

量程开关选交流，挡位大小符要求。
确保安全防触电，表笔绝缘尤重要。
表笔并联路两端，相接不分火或零。
测出电压有效值，测量高压要换孔。
表笔前端莫去碰，勿忘换挡先断电。

上述口诀的含义见表 2-4。

表 2-4　测交流电压口诀说明

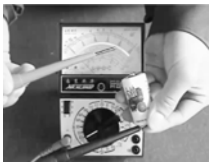
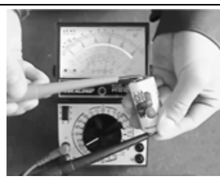
口　　诀	说　　明
量程开关选交流，挡位大小符要求	测量交流电压，必须选择适当的交流电压量程。若误用电阻量程、电流量程或者其他量程，有可能损坏万用表。此时，一般情况是内部的保险管损坏，可用同规格的保险管更换
确保安全防触电，表笔绝缘尤重要	测量交流电压必须注意安全，这是该口诀的核心内容。因为测量交流电压时人体与带电体的距离比较近，所以要特别注意安全。如果表笔有破损、表笔引线有破碎露铜等，应完全处理好后才能使用
表笔并联路两端，相接不分火或零	测量交流电压与测量直流电压的接线方式相同，即万用表与被测量电路并联，但测量交流电压不用考虑哪个表笔接火线，哪个表笔接零线的问题
测出电压有效值，测量高压要换孔	用万用表测得的电压值是交流电的有效值。如果需要测量高于 1 000V 的交流电压，要把红表笔插入 2 500V 插孔。不过，这种情况在实际工作中一般不容易出现
表笔前端莫去碰，勿忘换挡先断电	由于表笔前端的金属部分直接与交流电连接，因此操作者应注意安全，人手不能与笔尖接触。在测量过程中，如果需要中途切换量程，应在断电后进行，不能带电切换挡位

训练场 3——指针式万用表测量直流电压

测量 1 000V 以下直流电压时，将挡位选择开关置于所需的直流电压挡。测量 1 000～2 500V 的直流电压时，将挡位选择开关置于“直流 1 000V”挡，正表笔插入“交直流 2 500V”专用插孔。

使用万用表测量直流电压与测量交流电压的步骤相同，即一看，二扳，三试，四测，五复位。下面通过用万用表测量 1.5V 干电池的电压来说明操作五步骤的应用，见表 2-5。

表 2-5　万用表测量交流电压操作步骤

步　骤	说　明	图　示
一看	看表笔连接是否正确，挡位选择是否在直流电压挡。若有错误应立即改正	
二扳	将转换开关扳到合适的量程位置（如直流 2.5V 挡）	
三试	在测量前用表笔短时间接触被测电压（红表笔接电池的正极，黑表笔接电池的负极），并观察指针偏转方向及幅度是否正常。如果指针反向偏转，说明表笔极性接反，应立即改正过来；如果偏转幅度过大，就要把量程改换成较大的量程再进行测量	
四测	在前面三个步骤都正常的基础上，可进行测量，待指针稳定后再读数	
五复位	待测量完毕，放下表笔，将转换开关拨至测交流电压挡的最高挡位，避免在下次使用时忘看挡位而烧表	

指针式万用表测量直流电压的方法及注意事项可归纳为如下口诀。

操　作　口　诀

确定电路正负极，挡位量程先选好。
红笔要接高电位，黑笔接在低位端。
表笔并接路两端，若是表针反向转，
接线正负反极性，换挡之前请断电。

确定电路正负极，挡位量程先选好——用万用表测量直流电压之前，必须分清电路的正负极（或高电位端、低电位端），注意选择好适当的量程挡位。

电压挡位合适量程的标准是：表针尽量指在满偏刻度的 2/3 以上的位置（这与电阻挡合适倍率标准有所不同，一定要注意）。

红笔要接高电位，黑笔接在低位端——测量直流电压时，红笔要接高电位端（或电源正极），黑笔接在低位端（或电源负极）。

表笔并接路两端，若是表针反向转，接线正负反极性——测量直流电压时，两只表笔并联接入电路（或电源）两端。如果表针反向偏转，俗称打表，说明正负极性搞错了，此时应交换红、黑表笔再进行测量。

换挡之前请断电——在测量过程中，如果需要变换挡位，一定要取下表笔，断电后再变换电压挡位。

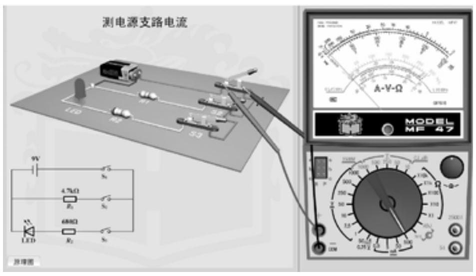


训练场 4——指针式万用表测量直流电流

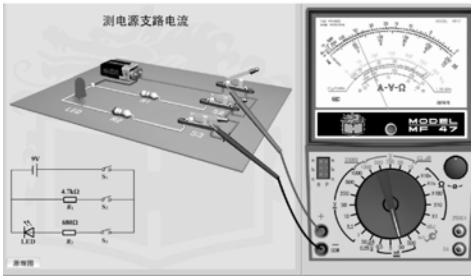
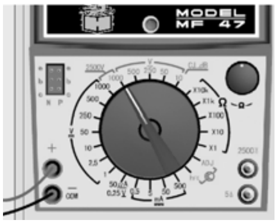
一般来说，指针式万用表只有直流电流测量功能，不能直接用指针式万用表测量交流电流。

使用万用表测量直流电流的步骤是：一看，二扳，三试，四测，五复位。下面通过用万用表测量 1.5V 干电池的电流来说明操作五步骤的应用，见表 2-6。

表 2-6　万用表测量直流电流操作步骤

步　骤	说　明	图　示
一看	看表笔连接是否正确，挡位选择是否在直流电流挡。若有错误应立即改正	
二扳	将转换开关扳到合适的量程位置（如直流 50mA 挡）	
三试	先断开被测量电路，再将表笔串联在电路中，红表笔接高电位端，黑表笔接低电位端，并观察指针偏转方向及幅度是否正常。如果指针反向偏转，说明表笔极性接反，应立即改正过来；如果偏转幅度过小，就要把量程改换成较小的量程再进行测量	

续表

步　　骤	说　　明	图　　示
四测	在前面三个步骤都正常的基础上，可进行测量，待指针稳定后再读数	
五复位	待测量完毕，放下表笔，将转换开关拨至测交流电压挡的最高挡位，避免在下次使用时忘看挡位而烧表	

指针式万用表测量直流电流的方法及注意事项可归纳为以下口诀。

操 作 口 诀

量程开关拨电流，确定电路正负极。
红色表笔接正极，黑色表笔要接负。
表笔串接电路中，高低电位要正确。
挡位由大换到小，换好量程再测量。
若是表针反向转，接线正负反极性。

上述口诀的含义见表 2-7。

表 2-7　测直流电流口诀说明

口　　诀	说　　明
量程开关拨电流，确定电路正负极	指针式万用表都具有测量直流电流的功能，但一般不具备测量交流电流的功能。在测量电路的直流电流之前，需要先确定电路的正、负极性
红色表笔接正极，黑色表笔要接负	这是正确使用表笔的问题。测量时，红色表笔接电源正极，黑色表笔接电源负极
表笔串接电路中，高低电位要正确	这又是关于表笔与被测量电路的连接方式问题。在测量之前，要将被测电路断开后再接入万用表。红色表笔接电路的高电位端（或电源的正极），黑色表笔接电路的低电位端（或电源的负极），这与测量直流电压时表笔的连接方法完全相同。 注意：如果误将万用表与负载并联，就会造成短路，烧坏万用表
挡位由大换到小，换好量程再测量	在测量电流之前，可先估计一下电路电流的大小，以便选择比较合适的量程；若不能大致估计电路电流的大小，最好的方法是由大换到小选择量程
若是表针反向转，接线正负反极性	在测量时，若是表针反向偏转，说明正负极性接反了，应立即交换红、黑表笔的接入位置

指点迷津——指针式万用表使用注意事项

（1）使用万用表时，注意不要用手触及测试笔的金属部分，以保证安全和测量的准确度。

（2）在测量较高电压或大电流时，不能带电转动转换开关，否则有可能使开关烧坏。

（3）不能带电测量电阻，因为欧姆挡是由干电池供电的，被测电阻不允许带电，以免损坏表头。

（4）万用表在用完后，应将转换开关转到“空挡”或“OFF”挡。若表盘上没有上述两挡，可将转换开关转到交流电压最高量限挡，以防下次测量时因疏忽而损坏万用表。

（5）在每次使用前，必须全面检查万用表的转换开关及量限开关的位置，确定没有问题后再进行测量。



训练场 5——数字万用表测量电阻

数字万用表测量电阻的操作要领及注意事项可归纳为以下口诀。

操 作 口 诀

仪表电压要富足，先将电路电关闭。
红笔插入 V/Ω孔，量程大小选适宜。
精确测量电阻值，引线电阻先记录。
笔尖测点接触好，手不接触测点笔。
若是显示数字“1”，超过量程最大值。
若是数字在跳变，稳定以后再读数。

上述口诀说明见表 2-8。

表 2-8　数字万用表测量电阻口诀说明

口　诀	说　明
仪表电压要富足，先将电路电关闭	为了不影响测量结果的准确性，使用前要检查数字万用表的电池电压是否足够。测量在路电阻时（在电路板上的电阻），应先将电路的电源关断，若带电测量很容易损坏万用表。 测量在线电阻时，应将线路电源关断，并将所有电容充分放电才能测量。被测线路中若有电源或电容器等储能元件，将会影响测量的准确性
红笔插入 V/Ω孔，量程大小选适宜	测量时，将黑表笔插入 COM 插孔，红表笔插入 V/Ω插孔；然后将量程开关置于合适的欧姆量程。准备工作完成后，即可进行电阻测量操作
精确测量电阻值，引线电阻先记录	在使用 200Ω电阻挡时，如果需要精确测量出电阻值，应先将两支表笔短路，测量出两支表笔引线的电阻值，并做好记录；然后进行电阻测量，每一次测量的显示数字减去表笔引线的电阻值，就是实际电阻值。当然，如果对测量结果的准确性要求不高，则可免去这一操作步骤。 在使用 200Ω以上的电阻挡测量时，由于被测量电阻的阻值比较大，表笔的引线电阻可不予考虑
笔尖测点接触好，手不接触测点笔	进行测量操作时，表笔笔尖与被测量电阻引脚要接触良好。如果电阻引脚已氧化、锈蚀，应先刮干净，让其露出光泽，再进行测量。操作者的两手不要同时碰触两支表笔的金属部分或被测量物件的两端，否则会引起测量误差增大
若是显示数字“1”，超过量程最大值	如果被测电阻值超出所选择量程的最大值，显示屏将显示过量程“1”，此时应选择更高的量程（当表笔没有连接好时，如开路情况，显示为“1”为正常现象）
若是数字在跳变，稳定以后再读数	对于大于 1MΩ或更高的电阻，要几秒后读数才能稳定，这是正常现象。等待数字稳定不再跳变即可读数

训练场 6——数字万用表测量电流

数字万用表测量电流的操作要领及注意事项可归纳为以下口诀。

操 作 口 诀

万用电表测电流，红笔插孔很重要。
电流大小不清楚，最大量程来测量。
表笔串联电路中，表笔极性不重要。
由于表笔已带电，安全操作最重要。

上述口诀的说明见表 2-9。

表 2-9 数字万用表测量电流口诀说明

口 诀	说 明
万用电表测电流，红笔插孔很重要	用数字万用表测量电流时，黑表笔插入 COM 插孔中，红表笔插入哪一个插孔（mA 或 A），则要根据被测电流的大小而定
电流大小不清楚，最大量程来测量	当要测量的电流大小不清楚时，可先用最大的量程来测量（如 20A 插孔），然后再逐渐减小量程来精确测量。测量电流时，切忌过载
表笔串联电路中，表笔极性不重要	用数字万用表测量电流时，应将表笔串联入被测量电路中，表笔的极性可以不考虑，因为数字万用表能够自动识别并显示被测电流的极性
由于表笔已带电，安全操作最重要	万用表测量电流、电压都属于带电作业，应特别注意接触表笔及表笔引线是否完好，若有破损，应在测量之前恢复好绝缘层。人手及身体的其他部位不能接触带电体。必要时，测量操作要有人监护

训练场 7——数字万用表测量电压

数字万用表的电压量程可分为直流电压量程和交流电压量程，其基本操作方法及注意事项可归纳为以下口诀。

操 作 口 诀

表笔插入相应孔，直流交流要分析。
不知被测电压值，量程从大往小移。
量程必须选择好，过载测量符号溢。
表笔并联测电压，接触良好防位移。
确保表笔绝缘好，最好右手握表笔。
直流电压的测量，红笔测正黑负极。
红黑表笔极性反，“–”表红测负极。
交流电压不分极，握笔安全为第一。
正在通电测量时，禁忌换挡出问题。
数字跳变为正常，稳定之后读数值。

上述口诀的说明见表 2-10。

表 2-10　数字万用表测量电压口诀说明

口　　诀	说　　明
表笔插入相应孔，直流交流要分析	用数字万用表测量电压时，将黑表笔插入 COM 插孔，红表笔插入 V/Ω插孔；根据被测电量是直流电压还是交流电压，将量程选择开关置于直流电压挡或交流电压挡
不知被测电压值，量程从大往小移	如果不知被测电压的大小范围，可先将量程选择开关置于最大量程，根据情况逐一置于较低一级的量程挡。 注意，减小量程挡时，表笔要从待测量处移开
量程必须选择好，过载测量符号溢	电压量程一定要选择合适，量程过大会影响测量结果；量程过小时显示屏只显示“1”，表示过量程，此时功能开关应置于更高量程
表笔并联测电压，接触良好防位移	测量电压时，两支表笔应分别并联在被测电源或电路负载的两个电位端。如果被测量电极表面有污物或锈迹，应先处理干净再进行测量。握笔的手不能有晃动，保证表笔与被测量电极保持良好接触
确保表笔绝缘好，最好右手握表笔	表笔及表笔引线绝缘要良好，否则在测量几百伏及以上的电压时有触电危险。一些初学者喜欢用两个手拿表笔，这是个不良习惯。无论使用万用表进行何种电量的测试，都应该养成单手握笔操作的好习惯，最好是用右手握表笔
直流电压的测量，红笔测正黑负极。红黑表笔极性反，“-”表红测负极	虽然数字万用表有自动转换极性的功能，但为了减小测量误差，测量时最好红表笔接被测量电压的正极，黑表笔接被测量电压的负极。如果两支表笔极性接反了，此时显示屏上显示电压数值的前面有一个“-”，表示此次测量红表笔接的是被测量电压的负极
交流电压不分极，握笔安全为第一	测量交流电压时，红黑表笔可以不分极性。由于交流电压比较高，尤其是测量 220V 及以上等级的交流电压时，握笔的手一定不能接触笔尖金属部分，否则会发生触电事故
正在通电测量时，禁忌换挡出问题	在使用万用表测量电压，尤其是测量较高电压时，无论什么原因都不许拨动量程选择开关，否则容易损坏万用表的电路及量程选择开关的触点
数字跳变为正常，稳定之后读数值	由于数字万用表电压量程的输入阻抗比较大，在测量开始时可能会出现无规律的数字跳变现象，这是正常现象。可稍等片刻，数值即可稳定，然后再读数

指点迷津——使用数字万用表注意事项

（1）使用前要检查仪表，如果发现任何异常情况，如表笔裸露、机壳破损、液晶显示器无显示等，均不要使用。严禁使用没有后盖和后盖没有盖好的仪表，否则有电击危险。

（2）表笔破损必须更换，应换上同样型号或相同电气规格的表笔。

（3）当万用表正在测量时，不要接触裸露的电线、连接器、没有使用的输入端或正在测量的电路。

（4）测量直流 60V 或交流 30V 以上的电压时，必须小心谨慎，手指不要超过表笔挡手部分，否则有触电的危险。

（5）在不能确定被测量的大小范围时，可将功能量程开关置于最大量程位置。不要测量高于允许输入值的电压或电流。

（6）进行在线电阻、电容、二极管或电路通断测量之前，必须先将电路中的所有电源关断并将所有电容器放电。

（7）不要随意改变仪表内部接线，以免损坏仪表和危及安全。

（8）禁止在测量高电压（220V 以上）或大电流（0.5A 以上）时拨动量程开关，以防止产生电弧，烧毁开关触点。

2.2.2 钳形电流表的使用

钳形电流表的最大特点是无须断开被测电路，就能够实现对被测电路中电流的测量，所以特别适合不便于断开线路或不允许停电的测量场合使用。

加油站——钳形电流表的选用

1）根据测量电流的性质选择钳形电流表

整流系钳形电流表只适合测量波形失真较低、频率变化不大的工频电流，否则将产生较大的测量误差。电磁系钳形电流表由于其测量机构可动部分的偏转性质与电流的极性无关，因此既可用于测量交流电流，也可用于测量直流电流，但准确度通常都比较低。钳形电流表的准确度主要有 2.5 级、3 级、5 级等几种，应当根据测量技术要求和实际情况选用。

2）根据测量场所的电磁干扰强度选择钳形电流表

数字式钳形电流表读数直观方便，并有许多扩充了测量功能，如测量电阻、二极管、电压、有功功率、无功功率、功率因数、频率等参数。但是，数字式钳形电流表在测量场合的电磁干扰比较严重时，显示出的测量结果可能发生离散性跳变，从而难以确认实际电流值。使用指针式钳形电流表，由于磁电系机械表头本身所具有的阻尼作用，使得其本身对较强电磁场干扰的反应比较迟钝，充其量也就是表针产生小幅度的摆动，其示值范围比较直观，相对而言读数不太困难。

训练场——钳形电流表测量电流

1）使用前的检查

（1）重点检查钳口上的绝缘材料（橡胶或塑料）有无脱落、破裂等现象，包括表头玻璃罩在内的整个外壳是否完好，这些都直接关系着测量安全并涉及仪表的性能问题。



图 2-47　检查钳口开合情况

（2）检查钳口的开合情况，要求钳口开合自如（如图 2-47 所示），钳口两个接合面应保证接触良好，若钳口上有油污和杂物，应用汽油擦干净；若有锈迹，应轻轻擦去。

（3）检查零点是否正确，若表针不在零点，可通过调节机构调准。

（4）多用型钳形电流表还应检查测试线和表笔有无损坏，要求导电良好、绝缘完好。

（5）数字式钳形电流表还应检查表内电池的电量是否充足，不足时必须更新。

2）使用方法

（1）在测量前，应根据负载电流的大小先估计被测电流数值，选择合适量程，或先选用较大量程的电流表进行测量，然后再根据被测电流的大小减小量程，使读数超过刻度的 1/2，以获得较准确的读数。

（2）在测量时，用手捏紧扳手使钳口张开，将被测载流导线放在钳口中心位置，以减小测量误差，如图 2-48 所示。然后，松开扳手，使钳口（铁芯）闭合，表头即有指示。注意，不可以将多相导线都夹入钳口测量。

（3）测量 5A 以下的电流时，如果钳形电流表的量程较大，在条件许可时，可将导线在钳口上多绕几圈（如图 2-49 所示），然后测量并读数。线路中的实际电流值为读数除以穿过钳口内侧的导线匝数。



图 2-48　载流导线放在钳口中心位置



图 2-49　测量 5A 以下电流的方法

（4）在判别三相电流是否平衡时，若条件允许，可将被测三相电路的三根相线同方向同时放入钳口中，若钳形电流表的读数为零，则表明三相负载平衡；若钳形电流表的读数不为零，则说明三相负载不平衡。

指点迷津——钳形电流表使用注意事项

（1）某些型号的钳形电流表附有交流电压刻度，测量电流、电压时，应分别进行，不能同时测量。

（2）钳形表钳口在测量时闭合要紧密，闭合后若有杂音，可打开钳口重合一次。若杂音仍不能消除，应检查磁路上各接合面是否光洁，有尘污时要擦拭干净。

（3）被测电路电压不能超过钳形表上所标明的数值，否则容易造成接地事故，或者引起触电危险。

（4）在测量现场，各种器材均应井然有序，测量人员应戴绝缘手套、穿绝缘鞋。身体的各部分与带电体之间至少不得小于安全距离（低压系统安全距离为 0.1 ~ 0.3m）。读数时，往往会不由自主地低头或探腰，这时要特别注意肢体，尤其是头部与带电部分之间的安全距离。

（5）测量回路电流时，应选择有绝缘层的导线进行测量，同时要与其他带电部分保持安全距离，防止相间短路事故发生。测量中禁止更换电流挡位。

（6）测量低压熔断器或水平排列的低压母线电流时，应将熔断器或母线用绝缘材料加以相间隔离，以免引起短路。同时应注意不得触及其他带电部分。

（7）对于数字式钳形电流表，尽管在使用前曾检查过电池的电量，但在测量过程中也应随时关注电池的电量情况，若发现电池电压不足（如出现低电压提示符号），必须在更换电池后再继续测量。能否正确地读取测量数据，直接关系到测量的准确性。如果测量现场存在电磁干扰，则必然干扰测量的正常进行，故应设法排除干扰。

（8）对于指针式钳形电流表，首先应认准所选择的挡位，其次认准所使用的是哪条刻度尺。观察表针所指的刻度值时，眼睛要正对表针和刻度，以避免斜视，减

小视差。数字式表头的显示虽然比较直观，但液晶屏的有效视角是很有限的，眼睛过于偏斜时很容易读错数字，还应当注意小数点及其所在的位置，这一点千万不能忽视。

（9）测量完毕，一定要把调节开关放在最大电流量程位置，以免下次使用时不小心造成仪表损坏。

钳形电流表的基本使用方法及注意事项可归纳为如下口诀。

操 作 口 诀

不断电路测电流，电流感知不用愁。
测流使用钳形表，方便快捷算一流。
钳口外观和绝缘，用前一定要检查。
钳口开合应自如，清除油污和杂物。
量程大小要适宜，钳表不能测高压。
如果测量小电流，导线缠绕钳口上。
带电测量要细心，安全距离不得小。

2.2.3 兆欧表的使用

加油站——兆欧表的选用

选择一只合适的兆欧表（俗称摇表），对测量结果的准确性和正确分析电气设备的绝缘性能及安全状况非常重要，因此必须认真对待。兆欧表的选用，通常从选择兆欧表的电压和测量范围这两方面来考虑。

1）选择兆欧表电压的原则

兆欧表的额定电压一定要与被测电力设备或者线路的额定电压相适应。电压高的电力设备，对绝缘电阻值要求大一些，须使用电压高的兆欧表来测试；而电压低的电力设备，其内部所能承受的电压不高，为了设备安全，测量绝缘电阻时就不能用电压太高的兆欧表。

一般选择原则是：500V 以下的电气设备，应选用 500～1 000V 的兆欧表；瓷瓶、母线、刀闸等电气设备，应选用 2 500V 以上的兆欧表。

2）选择兆欧表测量范围的原则

要使测量范围适应被测绝缘电阻的数值，避免读数时产生较大的误差。如有些兆欧表的读数不是从零开始，而是从 1MΩ或 2MΩ开始的，这种表就不适用于测定处在潮湿环境中的低压电气设备的绝缘电阻。因为这种设备的绝缘电阻有可能小于 1MΩ，使仪表得不到读数，容易误认为绝缘电阻为零，而得出错误结论。

训练场——兆欧表测量绝缘电阻

（1）将被测设备脱离电源，并进行放电，再把设备清扫干净（双回线，双母线，当一路带

电时，不得测量另一路的绝缘电阻）。

（2）测量前应对兆欧表进行校验，即做一次开路试验（测量线开路，摇动手柄，指针应指于“∞”处）和一次短路试验（测量线直接短接一下，摇动手柄，指针应指“0”），两测量线不准相互缠交，如图 2-50 所示。



（a）短路试验



（b）开路试验

图 2-50　兆欧表校验

（3）正确接线。一般兆欧表上有三个接线柱，一个为线接线柱、标号为“L”，一个为地接线柱、标号为“E”，另一个为保护或屏蔽接线柱、标号为“G”。在测量时，“L”与被测设备和大地绝缘的导体部分相接，“E”与被测设备的外壳或其他导体部分相接。一般在测量时只用“L”和“E”两个接线柱，但当被测设备表面漏电严重、对测量结果影响较大而又不易消除时，如空气太潮湿、绝缘材料的表面受到浸蚀而又不能擦干净时，就必须连接“G”端钮，如图 2-51 所示。同时在接线时还须注意不能使用双股线，应使用绝缘良好且不同颜色的单根导线，尤其对于连接“L”接线柱的导线，必须具有良好的绝缘。

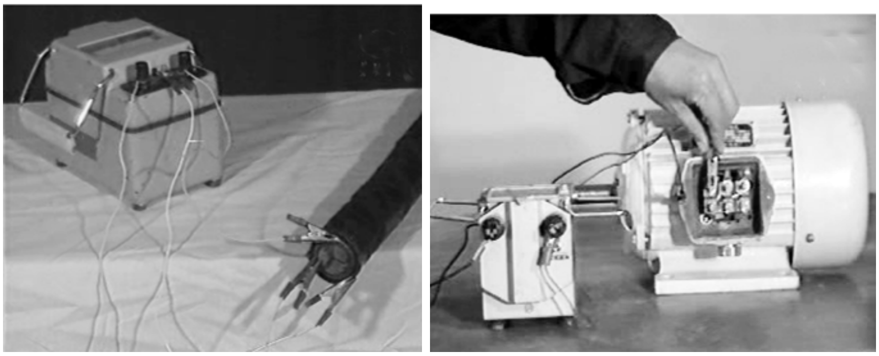


图 2-51　兆欧表接线示例

（4）在测量时，兆欧表必须放平。如图 2-52 所示，左手按住表身，右手摇动兆欧表摇柄，以 120r/min 的恒定速度转动手柄，使表指针逐渐上升，直到出现稳定值后，再读取绝缘电阻值（严禁在有人工作的设备上进行测量）。

（5）对于电容量大的设备，在测量完毕后，必须将被测设备对地放电（兆欧表未停止转动时及放电设备切勿用手触及）。

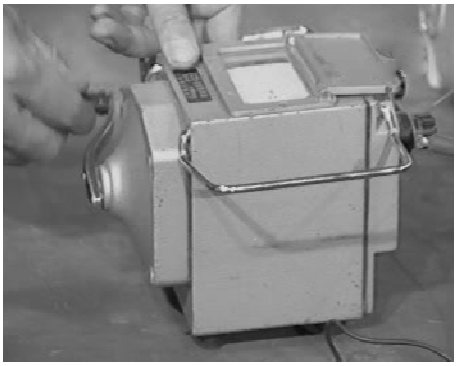


图 2-52　摇动兆欧表摇柄的方法

指点迷津——兆欧表使用注意事项

兆欧表本身工作时要产生高电压，为避免人身及设备事故，必须重视以下几点注意事项。

（1）不能在设备带电的情况下测量其绝缘电阻。测量前被测设备必须切断电源和负载，并进行放电；已用兆欧表测量过的设备若要再次测量，也必须先接地放电。

（2）兆欧表测量时要远离大电流导体和外磁场。

（3）与被测设备的连接导线，要用兆欧表专用测量线或选用绝缘强度高的两根单芯多股软线，两根导线切忌绞在一起，以免影响测量准确度。

（4）测量过程中，如果指针指向“0”位，表示被测设备短路，应立即停止转动手柄。

（5）被测设备中若有半导体器件，应先将其从插件板上拆去。

（6）测量过程中不得触及设备的测量部分，以防触电。

（7）测量电容性设备的绝缘电阻时，测量完毕，应对设备充分放电。

（8）测量过程中手或身体的其他部位不得触及设备的测量部分或兆欧表接线柱，即操作者应与被测量设备保持一定的安全距离，以防触电，如图 2-53 所示。

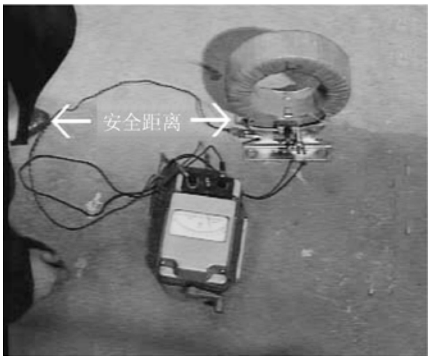


图 2-53　注意保持安全距离

（9）数字式兆欧表多采用 5 号电池或者 9V 电池供电，工作时所需供电电流较大，故在不使用时务必要关机，即便有自动关机功能的兆欧表，建议用完后也要手动关机。

（10）记录被测设备的温度和当时的天气情况，有利于分析设备的绝缘电阻是否正常。

兆欧表的基本操作方法及使用注意事项可归纳为如下口诀。

操 作 口 诀

使用兆欧表，首先查外观。
玻璃罩完好，刻度易分辨。
指针无扭曲，摆动要轻便。
其次校验表，标准有两个。
短路试验时，指针应指零。
开路试验时，针指无穷大。
第三是接线，分清被测件。
三个接线柱，必用 L 和 E;
若是测电缆，还要接 G 柱。
为了保安全，以下要注意。
引线要良好，禁止有绕缠。
进行测量时，勿在雷雨天。
测量线路段，必须要停电。
电容和电缆，一定先放电。
摇表放水平，远离磁场电。
匀速顺时摇，一百二十转。
摇转一分钟，读数较准确。
测量过程中，勿碰接线钮。

第 3 章　电气设备检修管理

3.1　电气设备检修原则及方法

3.1.1　电气设备检修原则

加油站——“十先十后”原则

1）先动口后动手原则

对于有故障的电气设备，不应急于动手，应先询问产生故障的前后经过及故障现象。对于生疏的设备，还应先熟悉电路原理和结构特点，遵守相应规则。拆卸前要充分熟悉每个电气部件的功能、位置、连接方式及与四周其他器件的关系，在没有组装图的情况下，应一边拆卸，一边画草图，并记上标记。

2）先外部后内部原则

应先检查设备有无明显裂痕、缺损，了解其维修史、使用年限等，然后再对机内进行检查。拆前应排除机外的故障因素，确定为机内故障后才能拆卸，否则盲目拆卸，可能导致设备越修越坏。

3）先机械后电气原则

只有在确定机械零件无故障后，才能进行电气方面的检查。检查电路故障时，应利用检测仪器寻找故障部位，确认无接触不良故障后，再有针对性地查看线路与机械的运作关系，以免误判。

4）先静态后动态原则

在设备未通电时，判定电气设备按钮、接触器、热继电器及熔断器的好坏，从而判定故障所在。通电试验，听其声、测参数、判定故障，最后进行维修。如在电动机缺相时，若测量三相电压值无法判别，就应该听其声，单独测每相对地电压，方可判定哪一相缺损。

5）先清洁后维修原则

对污染较重的电气设备，先对其按钮、接线点、接触点进行清洁，检查外部控制键是否失灵。许多故障都是由脏污及导电尘埃引起的，清洁之后故障往往会排除。

6）先电源后设备原则

电源部分的故障在整个设备故障中占的比例很高，所以先检修电源往往可以事半功倍。

7）先典型后特殊原则

因装配配件质量或其他设备故障而引起的故障，一般占常见故障的50%左右。电气设备的特殊故障多为软故障，要依据经验和仪表来测量和维修。

8）先外围后内部原则

先不要急于更换损坏的电气部件，在确认外围设备电路正常时，再考虑更换损坏的电气部件。

9）先直流后交流原则

检修时，必须先检查直流回路的静态工作点，再检查交流回路的动态工作点。

10）先故障后调试原则

对于调试和故障并存的电气设备，应先排除故障，再进行调试。调试必须在电气线路正常的前提下进行。

中转站——备品备件

对于电气设备的维修，备品备件是一个必不可少的技术准备手段，在遇到故障时若无备件可调换或使用，无形中会拖延排除故障的时间。如果备有一些备品备件，将会给维修人员排除故障带来许多方便，采用替换法常可迅速判断出一些疑难故障。电气系统备件配置要根据实际情况，通常一些易损的电气元件均应适当配备。

（1）修复。维修中，对换下来的有问题的元器件，在有条件的情况下应尽可能地进行修复。没有条件时，也应委托相关专业维修部门修理，以做备件使用，不至于浪费。

（2）代用。在多数情况下，许多电气元器件是可以用其他类似规格、型号的元器件替代的（如接触器、晶闸管模块、电阻器、电容器、熔断器等）。

（3）制作与改进。当某个电气元器件损坏，又买不到备件时，为了不影响生产，可以考虑对电路进行一些小的改动，改用其他的元器件实现同样的功能。

3.1.2　电气故障诊断检修法

电气控制电路故障的查找是一项技术性较强的工作，也是实际工作中一项十分重要的工作。具体故障的查找方法，不仅因人而异、因时而异，而且不同故障、不同的控制系统查找方法也不同。当控制系统出了故障后如果一时难以弄清是什么地方出了问题，就需要进行故障点的查找，而故障点的查找又有一定的规律可循。

电工实践证明，“六诊”、“八法”、“三先后”是一套行之有效的电气设备诊断的思想方法和工作方法。

加油站 1——一般电气故障“六诊”法

电路出现故障切忌盲目乱动，在检修前要对故障发生的情况进行尽可能详细的调查。简单地讲，就是通过问、看、听、闻、摸、测“六诊”来发现电气设备的异常情况，从而找出故障原因和故障所在的部位，具体方法见表 3-1。

表 3-1　电气故障调查“六诊”

诊 断 法	方 法 说 明
问	当一台设备的电气系统发生故障后，检修人员应和医生看病一样，首先要了解详细的“病情”，即向设备操作人员或用户了解设备使用情况、设备的病历和故障发生的全过程。 如果故障发生在有关操作期间或之后，还应询问当时的操作内容及方法、步骤。 通过询问，往往能得到一些很有用的信息。 总之，了解情况要尽可能详细和真实，这些往往是快速找出故障原因和部位的关键

续表

诊断法	方法说明
看	“看”包括两个方面：一是看现场；二是看图纸资料。 看现场时，主要观察触头是否烧蚀、熔毁，线头是否松动、松脱，线圈是否发热、烧焦，熔体是否熔断，脱扣器是否脱扣等，其他电气元件是否烧坏、发热、断线，导线连接螺钉是否松动，电动机的转速是否正常。还要观察信号显示和仪表指示等。 对于一些比较复杂的故障，首先应弄清电路的型号、组成及功能，看懂原理图，再看接线图，以“理论”指导“实践”
听	在电路和设备还能勉强运转而又不致扩大故障的前提下，可通电启动运行，倾听有无异响；如果有异响，应尽快判断出异响的部位后迅速停车，如图 3-1 所示。 利用听觉判断故障，是一件比较复杂的工作。只有在日常生产中积累丰富的经验，才能在实际运用中发挥作用
闻	用嗅觉器官检查有无电气元件发高热和烧焦的异味。如过热、短路、击穿故障，就有可能闻到烧焦味，火烟味和塑料、橡胶、油漆、润滑油等受热挥发的气味。对于注油设备，内部短路、过热、进水受潮后油样的气味也会发生变化，如出现酸味、臭味等
摸	刚切断电源后，尽快触摸线圈、触头等容易发热的部分，看温升是否正常。 若设备过载，则其整体温度会上升；若局部短路或机械摩擦，则可能出现局部过热；若机械卡阻或平衡性不好，其振幅就会加大。 在实际操作时要遵守有关安全规程和掌握设备特点，该摸的摸，不能摸的切不可乱摸，以免危及人身安全和损坏设备
测	用专用检测工具或仪表仪器对电气设备进行检查。利用仪表测量某些电参数的大小，经与正常数据对比后，确定故障原因和部位。利用试电笔测量电路有无电



图 3-1　听电动机的运行声音

训练场 1——“问”法的应用

例如，操作人员报告某台离心泵不能启动，需要及时处理。这时维修人员就要询问，水罐是否有水，上班和本班是否曾经运行，具体使用情况，是否运行一段时间后停止，还是未运行就不能开启。还要询问故障历史等。了解具体情况后，到现场处理就会有条理，便于轻松解决问题。

训练场 2——“看”法的应用

例如，某车间有一台螺杆泵，操作工介绍按下按钮时听到电动机有振动声而泵不动。根据所述情况判断，通电进行短暂试验不致发生事故，可以通电试验来核实所反映的情况。螺杆泵是空

载启动，因机械故障不能运行的可能性较小，最可能的原因是电动机或电源断相。首先查看电柜熔断器是否熔断；若完好，再检查控制电动机的接触器进线是否三相有电；如果有，最后通电核实所述情况。



训练场 3——“摸”法的应用

在实际操作中，应注意遵守有关安全规程，掌握设备的特点，掌握摸（触）的方法和技巧，该摸的摸，不能摸的切不可乱摸。手摸用力要适当，以免危及人身安全和损坏设备。手感温法估计温度（以电动机外壳为例）见表 3-2。

表 3-2 手感温法估计温度

温度（℃）	感 觉	具 体 程 度
30	稍冷	比人体温度低，感觉稍冷
40	稍暖和	比人体温度高，感到稍暖和
45	暖和	手背触及感到很暖和
50	稍热	手背可以长久触及，但长时间手背变红
55	热	手背可停留 5～7s
60	较热	手背可停留 3～4s
65	很热	手背可停留 2～3s
70	十分热	用手指可停留约 3s
75	极热	用手指可停留 1.5～2s
80	担心电动机坏	手背不能碰，手指勉强停留 1～1.5s
85～90	过热	不能碰，因条件反射瞬间缩回



训练场 4——“测”法的应用

在电气修理中，对于电路的通断，电动机绕组、电磁线圈的直流电阻，触头（点）的接触电阻等是否正常，可用万用表相应的电阻挡检查。对电动机三相空载电流、负载电流是否平衡，大小是否正常，可用钳型电流表或其他电流表检查。对于三相电压是否正常、是否一致，对于工作电压、线路部分电压等，可用万用表检查；对线路、绕阻的有关绝缘电阻，可用兆欧表检查。

利用仪表检查电路或电器的故障有速度快、判断准确、故障参数可量化等优点，因此，在电气维修中应充分发挥仪表检查故障的作用。

1）测量电压法

如图 3-2 所示为某电动机启停控制电路，电路各点间正常电压见表 3-3。如果实际测得的电压与表中的数值不符，则说明电路工作不正常。

表 3-3 电路各点间正常电压（V）

测试状态	AE	AB	BE	BC	CE	CD	DE
KM 吸合	220	0	220	0	220	0	220
KM 释放	220	0	220	0	220	220	0

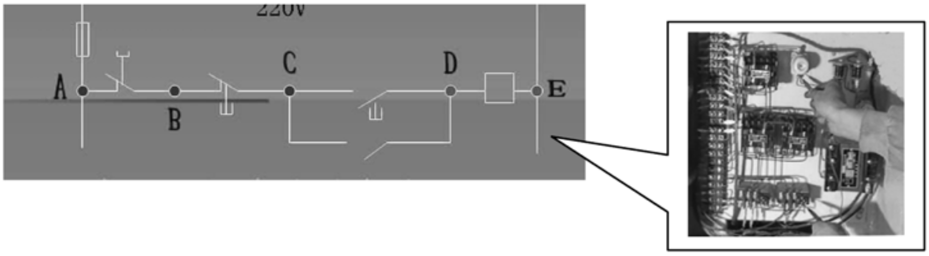


图 3-2　电动机启停控制电路

应用电压法来检修电气线路，首先了解线路，查看线路正常工作电压，然后通过比较判断故障所在。

2）测量电阻法

断开电源后，用万用表欧姆挡测量有关部位电阻值。若所测量电阻值与要求电阻值相差较大，则该部位极有可能就是故障点。

如图 3-3 所示为接触器联锁正反转控制电路。在电路正常时，用电阻法检查电动机正反转控制电路所测阻值见表 3-4。

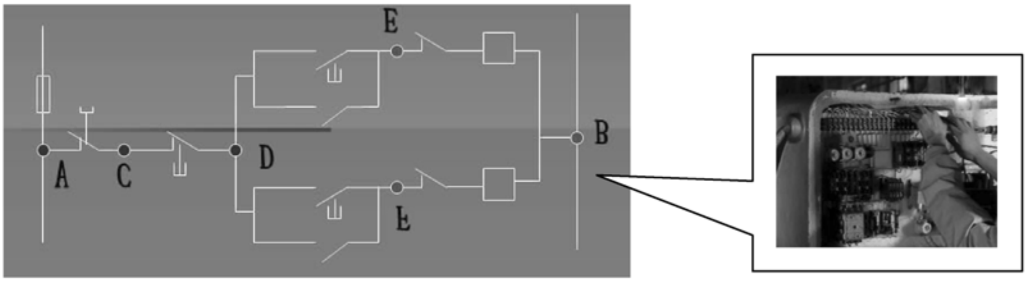


图 3-3　接触器联锁正反转控制电路

表 3-4　电阻法检查电动机正反转控制电路所测阻值

检 查 目 的	操 作 步 骤	AD	DE	DF	EB	FB
检查正转回路接线	万用表测 AD、DE、EB 点阻值	0	∞	—	1300	—
检查反转回路接线	万用表测 AD、DF、FB 点阻值	0	—	∞	—	1300
检查互锁	断开 KM2 的动断触头	—	—	—	∞	—
	断开 KM1 的动断触头	—	—	—	—	∞

指点迷津——测量时注意事项

（1）不能在线路带电的情况下测量电阻，否则不仅有可能损坏万用表，还有可能引起被测量线路故障。因此，用电阻测量法检查故障时，一定要断开电源开关。

（2）如果被测电路与其他电路并联，必须将该电路与其他电路断开，否则所测得的电阻值是不准确的。

（3）测量高电阻值的电气元件时，要选择合适的电阻挡。

中转站——电气控制线路断电检查的内容

（1）检查熔断器的熔体是否熔断、是否合适，以及接触是否良好。

（2）检查开关、刀闸、触点、接头是否接触良好。

（3）用万用表欧姆挡测量有关部位的电阻，用兆欧表测量电气元件和线路对地的电阻及相间绝缘电阻（低压电器绝缘电阻不得小于 0.5MΩ，以判断电路是否有开路、短路或接地现象）。

（4）检查改过的线路或修理过的元器件是否正常。

（5）检查热继电器是否动作，中间继电器、交流接触器是否卡阻或烧坏。

（6）检查转动部分是否灵活。

加油站 2——特殊电气故障诊断“八法”

电气控制线路的常见故障有断路、短路、接地、接线错误和电源故障 5 种。有的故障比较明显，检修比较简单；有的故障比较特殊，隐蔽，检修比较复杂。诊断检修电气设备特殊故障常用的有 8 个方法（见表 3-5），读者可针对不同的故障特点，灵活运用多种方法进行检修。

表 3-5　特殊电气故障诊断“八法”

诊断法	方法说明
分析法	根据电气设备的工作原理、控制原理和控制线路，结合初步感官诊断故障现象和特征，弄清故障所属系统，分析故障原因，确定故障范围。分析时，先从主电路入手，再依次分析各个控制回路，然后分析信号电路及其余辅助回路，分析时要善于运用逻辑推理法
短路法	就是把电气通道的某处短路或某一中间环节用导线跨接。短路法是一种很简捷的检修方法
断路法	就是甩开与故障疑点连接的后级负载（机械或电气负载），使其空载或临时接上假负载。对于多级连接的电路，可逐级甩开或有选择地甩开后级
经验法	经验法是通过对日常检测工作中遇到的一些具体情况进行归纳与分析，使之系统化、理论化，上升为经验的一种方法。 技术水平的提高、维修经验的积累，需要一个漫长的过程。要彻底排除故障，解决实际工作中所面临的问题，就必须搞清楚故障发生的原因。要想迅速查明原因，除了在工作中不断积累经验，更重要的是从理论上分析，解释事故发生的原因，用理论结合实际来指导自己的操作
菜单法	依据故障现象和特征，将可能引起这种故障的各种原因顺序罗列出来，然后一个个查找和验证，直到找出真正的故障原因和故障部位
试电笔检测法	试电笔是电工诊断检修电气故障最常用的工具之一。灵活应用试电笔，可以安全、快捷、方便地找到故障部位
推理法	就是根据电气设备出现的故障现象，由表及里，寻根溯源，层层分析和推理的方法。推理法可以分为顺推理法和逆推理法
图形变换法	查找电气设备和装置的电气故障，常常需要将实物和图进行对照。然而，电气图形种类繁多，因此需要从查找故障方便出发，将一种形式的图变换成另一种形式的图。其中最常用的是将设备布置接线图变换成电路图，将集中式布置图变换成分开式布置电气图

训练场 5——分析法的应用

任何电气设备都处在一定的状态下工作，对状态可以简单地划分为：工作状态和非工作状态，或运行状态和停止状态。查找电气故障应根据设备的不同状态进行分析，这就要求对设备的工作状态做更详细、更具体的划分。状态划分得越细，对查找电气故障越有利。

对于一种设备或一种装置，其部件和零件可能处于不同的运行状态，查找其中的电气故障必须将各种运行状态区别清楚。

下面举例说明分析法的应用。

例如，新买的一台交流弧焊机和 50m 电焊线，由于焊接工作地点就在电焊机附近，因此没有把整盘电焊线打开，只抽出一个线头接在电焊机二次绕组上。试车试验，电流很小不能起弧。检查电焊机接线，接头处都正常完好，电焊机的二次绕组电压表指示空载电压为 70V。检查了很长时间，仍不知道毛病出在哪里。最后将整盘电焊线打开拉直，试车，一切正常。其实道理很简单，按照电工原理：整盘的电焊线不打开，就相当于一个空心电感线圈，必然引起很大的感抗，使电焊机的输出电压减小，不能起弧。

又如，某电工按照图 3-4 所示组装了一个桥式整流可逆能耗制动电路，试机时，合上电源开关 QS，电动机就发出“嗡嗡”声，过一段时间“嗡嗡”声消失。

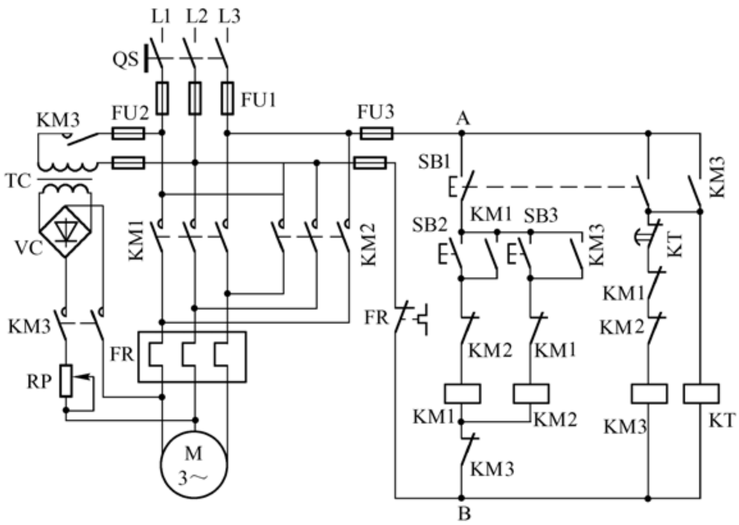


图 3-4　桥式整流可逆能耗制动电路

该“嗡嗡”声一般是接通电源后电动机通入直流电而发出的声音。检查时发现接触器 KM3 已吸合，说明 KM3 控制回路接线错误。从原理图中可以看出，按钮 SB1 的动合触点接在 KM3 控制回路中，如果 SB1 动合触点不能接通，则接触器 KM3 不会吸合，所以首先检查 SB1 动合触点是否接通及其两端的控制接线是否接反。检查后发现 SB1 动合触点两端的控制接线接反。原来时间继电器得电延时后，KT 的动断触点延时断开，将 KM3 控制回路切断，所以过一段时间“嗡嗡”声消失了。

训练场 6——短路法的应用

采用短路法时需要注意不要影响电路的工况，如短路交流信号通常利用电容器，而不随便使用导线短接。另外，在电气及仪表等设备调试中，经常需要使用短路连接线。

在以行程开关、限位开关、光电开关等为控制的自动线路中，遇到多个开关安装，不容易检查分辨的情况下，可采用此类方法进行实际操作。例如，小车控制系统，利用短路法检查就能快速排除故障。

指点迷津——使用短路法的注意事项

（1）在必须使用“试验按钮”才能启动时，不能使用导线短路法查找故障。

（2）由于短路法是用手拿绝缘导线带电操作的，因此一定要注意安全，避免触电事故发生。

（3）短路法只适用于检查压降极小的导线和触点之间的断路故障。对于压降较大的电器，如电阻、线圈、绕组等断路故障，绝不允许采用短接法，否则会出现短路故障或触电事故。

（4）对于机床的某些要害部位，必须在保障电气设备或机械部位不会出现事故的情况下才能使用短路法。

训练场 7——断路法的应用

采用断路法，断开负载后，可先检查本级，如果电路工作正常，则故障可能处在后级；如果电路仍不正常，则故障在开路点之前。此方法主要用于检查过载、低压故障；对于电子电路中的工作点漂移、频率特性改变也同样适用。

例如，判断大型设备故障时，为了分清是电气原因还是机械原因，常采用此法。比如，锅炉引风机就可以脱开联轴器，分别盘车，同时检查故障原因。

训练场 8——经验法的应用

电工检修常用的经验法较多，见表 3-6。

表 3-6　电工检修常用的经验法

经　验　法	操 作 要 点	说　　明
弹压活动部件法	主要用于活动部件，如接触器的衔铁、行程开关的滑轮臂、按钮、开关等。通过反复弹压活动部件，使活动部件灵活，同时也使一些接触不良的触头通过磨擦，达到接触导通的目的	例如，对于长期没有启用的控制系统，在启用前，应采用弹压活动部件法全部动作一次，以消除动作卡滞与触头氧化现象，对于因环境条件污物较多或潮气较大而造成的故障，也应使用这一方法。 必须注意，弹压活动部件法可用于故障范围的确定，而不常用于故障的排除，因为仅采用这一种方法，故障的排除常常是不彻底的，要彻底排除故障还需要采取另外的措施

续表

经验法	操作要点	说明
替换法	对于值得怀疑的元件（部件），可采用替换的方法进行验证。如果故障依旧，说明故障点怀疑不准，可能该元件没有问题。但如果故障排除，则说明与该元件相关的电路部分存在故障，应加以确认	当有两台或两台以上的电气控制系统时，可将系统分为几个部分，将各系统的部件进行交换。当交换到某一部分时，电路恢复正常工作，而将部件换到其他设备上时，其他设备出现了相同的故障，说明故障就在这部分。 当只有一台设备，而控制电路内部又存在相同元件时，可以将相同元件调换位置，检查对应元件的功能是否得到恢复，故障是否又转到另外的部分。如果故障转到另外的部分，则说明调换元件存在故障；如果故障没有变化，则说明故障与调换元件无关。 通过调换元件，可以不借用仪器来检查其他元件的好坏，因此可在条件不具备时使用
电路敲击法	可用一只小的橡皮锤，轻轻敲击工作中的元件。如果电路故障突然排除，或者故障突然出现，均说明被敲击元件附近或该元件本身存在接触不良现象。对于正常的电气设备，一般能经住一定幅度的冲击，即使工作中没有异常现象，如果在一定程度的敲击下，发生了异常现象，也说明该电路存在故障隐患，应及时查找并排除	电路敲击法基本类似于弹压活动部件法，二者的区别主要是前者是在断电的过程中进行的，而后者主要是带电检查。 注意敲击的力度要把握好，用力太大或太小都不行
黑暗观察法	在比较黑暗和安静的环境中观察故障线路，如果有火花产生，则可以肯定，产生火花的地方存在接触不良或放电击穿的故障；但如果没有火花产生，则不一定就接触良好	当电路存在接触不良故障时，在电源电压作用下，常产生火花并伴随着一定的声响。因为火花和声音一般比较弱，在光线较为明亮、环境噪声稍大的场所，常不易察觉，因此应在比较黑暗和安静的情况下，观察电路有无火花产生，聆听是否有放电时的“嘶嘶”声或“劈啪”声。 黑暗观察法只是一个辅助手段，对故障点的确定有一定帮助，要彻底排除故障还需要采取另外的措施
对比法	当电路中有两个或两个以上的相同部分时，可以对两部分的工作情况进行对比。因为两部分同时发生相同故障的可能性较小，因此通过比较，可以方便地测出各种情况下的参数差异，通过合理分析，就可以快速地确定故障范围和故障情况	根据相同元件的发热情况、振动情况，电流、电压、电阻及其他数据，可以确定该元件是否过荷、电磁部分是否损坏、线圈绕组是否有匝间短路、电源部分是否正常等。使用这一方法时应特别注意，两电路部分工作状况必须完全相同才能互相参照，否则不能比较，至少是不能完全比较
加热法	当电气故障与开机时间呈一定的对应关系时，可采用加热法促使故障更加明显。因此随着开机时间的增加，电气线路内部的温度上升。在温度的作用下，电气线路中的故障元件或侵入污物的电气性能不断改变，从而引发故障。因此可用加热法加速电路温度的上升，起到诱发故障的作用	使用电吹风或其他加热方式，对怀疑的元件进行局部加热，如果诱发故障，说明被怀疑元器件存在故障，如果没有诱发故障，则说明被怀疑元器件可能没有故障，从而起到确定故障点的作用。 使用这一方法时应注意安全，加热面不要太大，温度不能过高，以电路正常工作时所能达到的最高温度为限，否则可能会造成绝缘材料及其他元器件的损坏



训练场9——菜单法的应用

例如，某电工对一台17kW、4极交流电动机进行检修保养，检修后通电试运转时，发

现电动机的空载电流三相相差 1/5 以上，振动比正常时剧烈，但无“嗡嗡”声，也无过热冒烟现象。

根据“空载电流不平衡，三相相差 1/5 以上”的故障现象，初步分析影响电动机空载电流不平衡有以下 5 个原因，于是用菜单的形式列出来。

（1）电源电压不平衡。

（2）定子、转子磁路不平均。

（3）定子绕组短路。

（4）定子绕组接线错误。

（5）定子绕组断路（开路）。

经现场观察，电源三相电压之间相差尚不足 1%，因此不会因电压不平衡引起三相空载电流相差 1/5 以上。另外，仅定子与转子磁路不平均，也不会使三相空载电流相差 1/5 以上。其次，定子绕组短路还会同时发生电动机过热或冒烟等现象，而本电动机既不过热，又未发生冒烟，可以断定定子绕组无短路故障。关于绕组接线错误，对于以前使用正常，只进行一般维护保养而未进行定子绕组重绕的，不存在定子绕组连线错误的问题。经过以上分析和筛选，完全排除了前 4 种原因。

分析定子绕组断路情况，当定子绕组为△形连接时，若某处断路，定子绕组将成为Y形连接，由基本电工理论可知，A 相电流大，B、C 两相电流小，且基本相当。此时，若定子绕组接线正确，定子绕组每相所有磁极位置是对称的，某一相整个断电，转子所受其他两相的转矩仍然是平衡的，电动机不会产生剧烈振动。但本电动机振动比平常剧烈，而电动机振动剧烈是由转子所受转矩不平衡所致，因此可断定三相空载电流相差 1/5 以上，不是由于定子绕组整相断路所致。如图 3-5 所示，如果 B、C 相绕组在 y 处断路，三相负载电流仍然是 A 相大，B、C 两相小，并且此时转子所受转矩不平衡，电动机较正常时振动剧烈。这是因为，在 y 处不发生断路时，双路绕组在定子内的位置是对称的；若 y 处发生断路，原来定子绕组分布状态遭到破坏，此时转子只受到一边的转矩，所以发生振动。由以上分析可以确定，这台电动机的故障是定子双路并联绕组中有一路断路，引起三相空载电流不平衡，并使电动机发生剧烈振动。

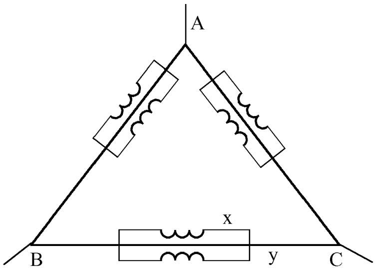


图 3-5　定子绕组△形连接图



训练场 10——试电笔检查法的应用

（1）试电笔检查交流电路断路故障的方法如图 3-6 所示。测试时，应根据电路原理图，用

试电笔依次测量各个测试点，测到哪一点试电笔不亮，即表示该点为断路处。



图 3-6　试电笔检查交流电路断路故障的方法

（2）试电笔检查直流电路断路故障时，可以先用试电笔检测直流电源的正、负极。氖管前端明亮时为负极，氖管后端（手持端）明亮时为正极。也可从亮度判断，正极比负极亮一些。试电笔测量交流电、直流电时的发光情况如图 3-7 所示，交流电氖管通身亮，直流电氖管亮一端。

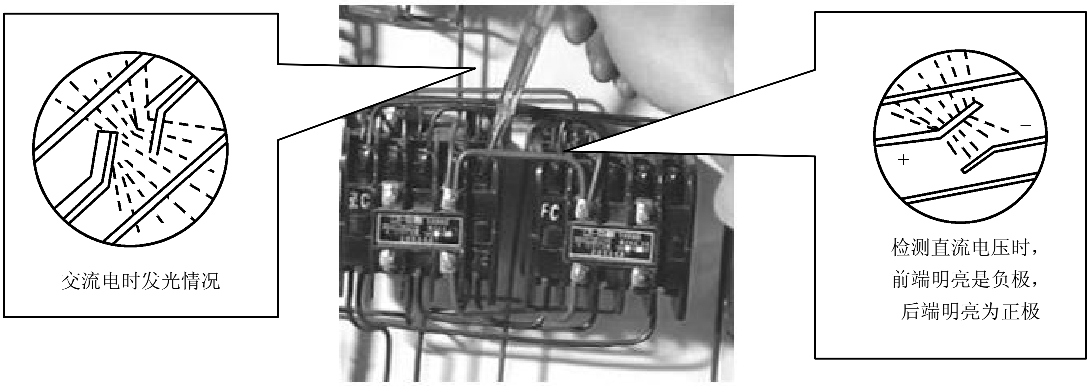


图 3-7　试电笔测量交流电、直流电时的发光情况

确定了正、负极后，根据直流电路中正、负电压的分界点在耗能元件两端的道理，逐一对故障段上的元件两端进行测试，若在非耗能元件两端分别测得正、负电压，则说明断路点就在该元件内。在用试电笔测到直流接触器的正、负两端时，如果测出两端分别是正、负电压，而 KM 不吸合，则一般为 KM 线圈断路故障。

指点迷津

用电子式感应电笔查找控制线路的断路故障非常方便。手触感应断点检测按钮，用笔头沿着线路在绝缘层上移动，若在某一点处显示窗显示的符号消失，则该点就是断点位置。

训练场 11——推理法的应用

电气设备在使用过程中，由于种种原因，常常会出现故障，这就需要我们准确地查找故障所在位置，并排除故障。

电气设备的某些故障，虽然对设备本身影响不大，但不能满足使用要求，这种故障称为使用故障。例如，发电机发出的电压偏低、频率偏低等故障，对发电机本身影响不大，但不能满足外部对电压和频率的要求，然而又是发电机本身原因造成的故障。有些故障虽然不影响使用，但对设备本身有一定的影响，或者称对设备性能有一定的影响，这类故障称为性能故障。例如，变压器空载损耗增加，说明变压器内部铁芯存在某些故障，从而降低了变压器本身的性能，同时使变压器发热增加。但从外部使用来看，只要变压器输出电压正常，就不影响正常使用。

电气设备的有些故障是由于设备内部因素造成的，如电磁力、电弧、发热等，使电气设备结构损坏、绝缘材料的绝缘击穿等，这类故障称为设备内部故障。电气设备的另一些故障则是由外部因素引起的，如电源电压、频率、三相不平衡，外力及环境条件等，使电气设备形成故障，这类故障称为设备外部故障。

推理法可以分为顺推理法和逆推理法。

（1）顺推理法一般是根据故障设备，从电源、控制设备及电路，一一分析和查找的方法。

（2）逆推理法则采用相反的程序推理，即由故障设备倒推至控制设备及电路、电源等，从而确定故障。

这两种方法都是常用的方法。在某些情况下，逆推理法要快捷一些。因为逆推理时，只要找到故障部位，就不必再往下查找了。

训练场 12——图形变换法的应用

查找电气设备和装置的电气故障，常常需要将实物和图进行对照。然而，电气图形种类繁多，因此需要从查找故障方便出发，将一种形式的图变换成另一种形式的图。其中最常用的是将设备布置接线图变换成电路图，将集中式布置图变换成分开式布置电气图。

设备布置接线图是一种按设备大致形状和相对位置画成的图，这种图主要用于设备的安装和接线，对查找电气故障也十分有用。但从这种图上，不易看出设备和装置的工作原理及工作过程。而了解其工作原理和工作过程是查找电气故障的理论基础，对查找电气故障是至关重要的。电路图是主要描述设备和装置电气工作原理的图，因而需要将设备布置接线图变换为电路图。

加油站 3——确定故障部位“三先后”法

1）先易后难法

先易后难，也可理解为“先简单后复杂”。根据客观条件，容易实施的手段优先采用，不易实施或较难实施的手段必要时采用。即检修故障要先用最简单易行、自己最拿手的方法处理，再用复杂、精确的方法；排除故障时，先排除直观、显而易见、简单常见的故障，后排除难度

较高、没有处理过的疑难故障。

电气设备经常容易产生相同类型的故障，即“通病”。由于通病比较常见，积累的经验较丰富，因此可以快速的排除，这样就可以集中精力和时间排除比较少见、难度高、古怪的疑难杂症。该方法可简化步骤，缩小范围，有的放矢，提高检修速度。

2）先动后静法

先动后静，即着手检查时首先考虑电气设备的活动部分，其次才是静止部分。电气设备的活动部分比静止部分在使用中的故障概率要高得多，所以诊断时首先要怀疑的对象往往是经常动作的零部件或可动部分，如开关、熔丝、闸刀、接插件、机械运动部分。在具体的检测操作中，却要“先静态测试，后动态测量”。静态，是指发生故障后，在不通电的情况下，对电气设备进行检测；动态，是指通电后对电气设备的检测。

3）先电源后负载法

先电源后负载，即检查的先后次序从电路的角度来说，是先检查电源部分，后检查负载部分。因为电源侧故障势必会影响到负载，而负载侧故障则未必会影响到电源。例如，电源电压过高、过低、波形畸变、三相不对称等都会影响电气设备的正常工作。对于用电设备，通常先检查电源的电压、电流、电路中的开关、触点、熔丝、接头等，故障排除后，才根据需要检查负载。

通过直观观察无法找到故障点，断电检查仍未找到故障时，可对电气设备进行通电检查。通电检查前要先切断主电路，让电动机停转，尽量使电动机和其所传动的机械部分脱开，将控制器和转换开关置于零位，行程开关还原到正常位置；然后用万用表检查电源电压是否正常，是否缺相或严重不平衡。

通电检查的顺序为先检查控制电路，后检查主电路；先检查辅助系统，后检查主传动系统；先检查交流系统，后检查直流系统；先检查开关电路，后检查调整系统。通电检查控制电路的动作顺序，观察各元件的动作情况，或断开所有开关，取下所有熔断器，然后按顺序逐一插入要检查部位的熔断器，合上开关，观察各电气元件是否按要求动作。

指点迷津——诊断方法灵活用

掌握诊断要诀，一要有的放矢，二要机动灵活。“六诊”要有的放矢；“八法”要机动灵活；“三先后”也并非一成不变。

在电气控制线路中，可能发生故障的线段和电器较多。有的明显，有的隐蔽；有的简单，易于排除；有的复杂，难以检查。在诊断检修故障时，应灵活使用上述修理方法，及时排除故障，确保生产的正常进行。

检修中应注意做好书面记录，积累有关资料，不断总结经验，才能成为诊断电气设备故障的行家里手。

中转站——排除故障的一般步骤

排除故障没有固定的模式，也无统一的标准，因人而异。但在一般情况下，还是有一定规律的。通常排除故障时，所采用的步骤大致可分为：症状分析→设备检查→确定故障点→故障排除→排除后的性能观察。

1）症状分析

症状分析是对所有可能存在的有关故障原始状态的信息进行收集和判断的过程。在故障迹象受到干扰以前，对所有信息都应仔细分析。这些原始信息可从以下几个方面获得。

（1）访问操作人员：以获得设备使用及变化过程、损坏或失灵前后情况的信息，还可以了解一些过去类似的故障现象、原因及曾经采取的措施等方面的情况。

（2）观察和初步检查：对设备进行全面的观察往往会得到有价值的线索。初步检查的内容包括检测装置（如操作台指示灯、显示器报警信息等）、检查操作开关的位置及控制机构、调整装置和连锁信号装置等。

（3）开动设备试运行：如果故障不是整机性的致使电气控制系统瘫痪，可以采用试运转的方法开动设备，可帮助维修人员对故障的原始状态有一个综合的印象。

这个阶段的目的在于收集故障的原始信息，以便对现有实际情况进行分析，并从中推导出最有可能存在故障区域的线索，作为下一步设备检查的参考。

2）设备检查

根据症状分析中得到的初步结果，对设备进行详细的检查，特别是那些被认为最有可能存在故障的区域。要注意此时应尽量避免对设备进行不必要的拆卸，防止因不慎操作引起故障范围扩大化。

不要轻易对控制装置进行调整。一般情况下，故障未排除而盲目调整参数会掩盖症状，而且会随着故障的发展使症状重新出现，甚至可能造成严重的后果。所以须避免盲目性，防止因不慎操作使故障复杂化，避免造成症状混乱而延长排除故障的时间。

3）确定故障点

根据故障现象，结合设备的原理及控制特点进行分析和判断，确定故障发生范围，是电气故障还是机械故障？是直流回路还是交流回路？是主电路还是控制电路或辅助电路？是人为造成还是随机性的？等等。根据症状分析及设备检查，灵活运用“排除故障的方法”，逐步缩小范围，直至找到故障点。

4）故障排除

在确定故障点以后，无论修复还是更换，对电气维修人员来讲，排除故障比查找故障要简单得多。但在排除故障过程中一般不会只用单一的方法，往往多种方法综合运用。

（1）在排除故障的过程中，应先动脑，后动手，正确分析可起到事半功倍的效果。具体遵循“先外部后内部→先机械后电气→先静后动→先公用后专用→先简单后复杂→先一般后特殊”的原则。需要注意的是，在找出有故障的组件后，应该进一步确定故障的根本原因。例如，当电路板内的一只晶体管被烧坏，单纯地更换一个晶体管是不够的，重要的是要查出烧坏的原因，并采取补救和预防的措施。

（2）一般情况下，以设备的动作顺序为排除分析、检测的次序。依此前提，先检查电源，再检查线路和负载；先检查公共回路，再检查各分支回路；先检查主电路，再检查控制电路；先检查容易检测的部分，再检查不易检测的部分。

（3）修后性能观察。故障排除以后，维修人员在运行前还应作进一步检查，通过检查证实故障确实已经排除，然后由操作人员来试运行操作，以确认设备是否已正常运转，同时还应向相关人员说明应注意的问题。重要的是，在修复后再检查时，要尽量使电气控制系统或电气设备恢复原样，并清理现场，保持设备的干净、卫生。

3.2 电气设备检修前的准备工作

3.2.1 电气设备检修的分类和意义

加油站 1——电气设备检修的分类

为了保证电气设备正常运行和安全生产，对设备实行有计划的预防性修理，是工业企业电气设备管理与维修工作的重要组成部分。

电气设备的检修分为大修、小修和事故抢修。

（1）大修是指对设备全部解体，对部分零部件进行修复、改造、更换，处理缺陷，恢复原有精度，机组效率和出力达到和超过原设计标准而进行的检修。大修是设备的定期检修，间隔时间较长，工作量大，所以应有充分的准备和周密的安排。

（2）小修是指对设备局部解体，为消除一些缺陷或漏泄和磨损部件而进行的检修。小修重点检查的是易磨、易损部件，对其进行必要的处理或清扫和试验。相对大修而言，小修虽然工作量较小、时间较短，但也应认真对待。

（3）事故抢修是在设备发生事故后，在短时间内进行抢修，对其损坏部分进行检查、修理或更换。突发事故抢修具有不确定性，时间紧、任务重，因此平时必须做好应急准备。

加油站 2——电气设备检修的意义

（1）使设备处于良好的技术状态，满足生产的需要。

（2）保证设备安全、经济运行，提高设备可用系数，充分发挥设备的潜力。

（3）保证电力系统安全运行。

电气设备检修的意义重大，检修人员一定要贯彻“应修必修，修必修好”的原则。

3.2.2 电气设备大修前的准备工作

加油站——大修前的准备工作

电气设备的大修过程一般包括：解体前整机检查、拆卸部件、部件检查、必要的部件分解、零件清洗及检查、部件修理装配、总装配、空运转试车、负荷试车、整机精度检验、竣工验收。在实际工作中应按大修作业计划进行并同时做好作业调度、作业质量控制及竣工验收等主要管理工作。

电气设备大修的修理技术和工作量，在大修前难以预测得十分准确。因此，在大修过程中，应从实际情况出发，及时地采取各种措施来弥补大修前预测的不足，并保证修理工期按计划或提前完成。一般来说，电气设备大修前要做的准备工作有以下几个方面。

（1）针对系统和设备的运行情况、存在的缺陷和小修核查结果，结合上次大修总结，进行

现场核对。根据核对结果及年度检修计划要求，确定检修重点项目，制定符合实际情况的对策和措施，并做好有关设计、试验和技术鉴定工作。

（2）落实物质（包括材料、备品备件、安全用具、施工机具等）准备和检修施工场地布置。

（3）制定施工技术组织措施及安全措施。

（4）准备好技术记录表格。

（5）制定实施大修计划的网络图或施工进度表。

（6）确定所需测绘和校核的备品备件加工图。

（7）做好大修项目费用预算，报单位领导批准，并报主管局（公司）备案。

（8）组织各班组学习并讨论检修计划、项目、进度、措施及质量要求等，落实经济责任制。

（9）大修前一个月，检修工作的负责人应组织有关人员检查上述各项工作的准备情况，开工前还应复查，确保大修顺利进行。

指点迷津

为了使修理工作顺利地进行并做到准确无误，修理人员应认真听取操作者对设备修理的要求，详细了解待修设备的主要问题，如设备精度丧失情况、主要机械零件的磨损程度、传动系统的精度状况和外观缺陷等；了解待修设备为满足工艺要求应作哪些部件的改进和改装，阅读有关技术资料、设备使用说明书和历次修理记录，熟悉设备的结构特点、传动系统和原设计精度要求，以便提出预检项目。经预检确定大件、关键件的具体修理方法，准备专用工具和检测量具，确定修后的精度检验项目和试车验收要求，这样就为整台设备的大修做好了各项技术准备工作。

中转站——设备修理方案的确定

对设备大修，不但要达到预定的技术要求，而且要力求提高经济效益。因此，在修理前应切实掌握设备的技术状况，制定切实可行的修理方案，充分做好技术和生产准备工作；在修理中要积极采用新技术、新材料、新工艺和现代管理方法，做好技术、经济和组织管理工作，以保证修理质量，缩短停修时间，降低修理费用。

必须通过预检，在详细调查了解设备修理前技术状况、存在的主要缺陷和产品工艺对设备的技术要求后，立即分析制定修理方案，主要内容包括以下几个方面。

（1）按产品工艺要求，设备的出厂精度标准能否满足生产需要；如果个别主要精度项目标准不能满足生产需要，能否采取工艺措施提高精度；哪些精度项目可以免检。

（2）对多发性重复故障部位，分析改进设计的必要性与可能性。

（3）对关键零部件，如精密主轴部件、精密丝杠副、分度蜗杆副的修理，本企业维修人员的技术水平和条件能否胜任。

（4）对基础件，如床身、立柱、横梁等的修理，采用磨削、精刨或精铣工艺，在本企业或本地区其他企业实现的可能性和经济性。

（5）为了缩短修理时间，哪些部件采用新部件比修复原部件更经济。

（6）如果本企业承修，哪些修理作业需委托外企业协作，与外企业联系并达成初步协议。如果本企业不能胜任和不能实现对关键零部件、基础件的修理工作，应确定委托其他企业来承修，这些企业是指专业修理公司、设备制造公司等。

3.2.3 电气设备小修前的准备工作

加油站——小修前的准备工作

电气设备小修是工作量最小的计划修理。对于实行状态监测修理的设备，小修的内容是针对日常点检、定期检查和状态监测诊断发现的问题，拆卸有关部件，进行检查、调整、更换或修复失效的零件，以恢复设备的正常功能。

对于实行定期修理的设备，小修的主要内容是根据掌握的磨损规律，更换或修复在修理间隔期内即将失效的零件，以保证设备的正常功能。

3.3 常用电气设备大修、小修周期及检修内容

3.3.1 变压器的检修周期及项目

加油站 1——变压器的检修周期

根据变压器的运行情况和检查试验结果来确定变压器是否进行大修，新投运变压器在投运5 年内应大修一次，以后每 5～10 年大修一次。

运行中的变压器发现异常状况或经试验周期判明有内部故障时，应提前进行大修。

加油站 2——变压器的大修项目

主变压器的大修项目见表 3-7。

表 3-7 主变压器的大修项目

部件名称	一般项目	特殊项目
外壳及油	（1）检查和清扫外壳，包括本体、大盖、衬垫、油枕、散热器、阀门、喷油管、滚轮等，消除渗油、漏油。 （2）检查和清扫油再生装置，更换或补充硅胶。 （3）根据油质状况，过滤变压器油。 （4）检查接地装置。 （5）室外变压器外壳刷漆	（1）更换变压器油。 （2）拆下散热器进行补焊及油压试验。 （3）更换散热器
芯子	（1）第一次大修若不能利用打开大盖或人孔进入内部检查时，应吊出芯子；以后大修是否吊芯，根据运行、检查、试验等结果确定。 （2）检查铁芯、铁芯接地情况及穿芯螺钉的绝缘，检查及清理绕组和绕组压紧装置、垫块、引线、各部分螺钉、油路及接线板等	（1）焊接外壳或密封式的变压器吊芯。 （2）更换部分绕组或修理绕组。 （3）修理铁芯。 （4）干燥绕组
冷却系统	（1）检查散热器及阀门是否有锈蚀、堵塞，密封是否良好。 （2）消除漏油现象	改变冷却方式
分接头切换装置	检查并修理无载分接头切换装置，包括附加电抗器、定触点、动触点及其传动机构	更换切换装置

续表

部件名称	一般项目	特殊项目
套管	检查并清扫全部套管	（1）更换套管。 （2）套管解体检修。 （3）改进套管结构。 （4）套管大修后应进行交流耐压试验，规定 10kV 绕组为 42kV
其他	（1）校验和调整温度表。 （2）检查空气干燥器及吸潮剂。 （3）检查和清扫油标。 （4）检查和校验仪表及继电保护装置、控制信号装置等及其二次回路。 （5）进行预防性试验。 （6）检查和清扫变压器电气连接系统的配电装置及电缆。 （7）检查基础轨道坡度，应符合 1%～1.5%坡度	

中转站——变压器大修后的试验项

（1）测定绕组的绝缘电阻和吸收比（用 2 500V 兆欧表测定）。

（2）测定绕组连同套管的泄漏电流，直流试验电压值为 10kV，泄漏电流在环境温度为 40℃时小于等于 77μA（30℃时为 50μA、20℃时为 33μA）。

（3）测定绕组连同套管的介质损耗因数（规定要求 3 150kV · A 以上的变压器应进行）。

（4）绕组连同套管一起的交流耐压试验（规定 10kV 绕组的试验值为 42kV）。

（5）测量非纯瓷套管的介质损耗和电容值。

（6）油箱中的绝缘油试验（规定新投入和大修后的变压器发现异常应每月进行一次色谱分析）。

（7）测量轭铁梁和穿芯螺栓（可接触到）的绝缘电阻（用 1 000V 摇表测量，或用 1kV 交流耐压试验 1min，绝缘电阻值在电压等级为 10kV 以下大于等于 2MΩ）。

（8）测量（带有外接地）对地的绝缘电阻。

（9）测量绕组连同套管一起的直流电阻（1 600kV · A 及以下的变压器相间差别一般不大于三相平均值的 4%，线间差别一般不大于三相平均值的 2%；1 600kV · A 及以上相间不大于 2%，无中性点引出时的线圈差别应不大于三相平均值的 1%）。

（10）检查绕组所有分接头的电压比。

（11）校定三相变压器的连接组别和单向变压器引出线的极性。

（12）测量额定容量为 3 150kV · A 及以上变压器在额定电压下的空载电流和空载损耗。

（13）测定短路电压和负载损耗。

（14）检查分接开关的动作情况。

（15）检查相位。

（16）额定电压下的冲击合闸试验。

（17）总装后对散热器和油箱进行密封试验。

（18）冷却装置的检查和试验。

（19）检查接缝衬垫和法兰连接情况。

（20）油的色谱分析。

（21）油的微水测量。

加油站 3——变压器的小修项目

变压器的小修周期一般每年 1～2 次。其小修项目如下：

（1）清扫外壳及出线套管。

（2）检查外部，拧紧引出线接头，并消除已发现而就地能消除的缺陷。

（3）清除油枕中的污泥，必要时加油，检查油位计。

（4）检查放油门及密封衬垫。

（5）检查和清扫冷却装置及运行中的油再生装置。

（6）检查瓦斯继电器和压力释放装置的完整性。

（7）进行规定的测量和试验。

加油站 4——变压器定期试验项目

如表 3-8 所示为变压器定期试验项目。

表 3-8　变压器定期试验项目

序号	项　　目	周　　期	要　　求	说　　明
1	绕组直流电阻	（1）1～3 年或自行规定。 （2）无励磁调压变压器变换分接头后。 （3）大修后。 （4）必要时	（1）1.6MV·A 以上，各相绕组电阻相互差别应小于平均值的 2%。 （2）1.6MV·A 以下，差别应小于平均值的 4%，线间差别应小于 2%	无励磁调压变压器应在使用的分接头锁定后测量
2	绕组绝缘电阻、吸收比或极化指数	（1）1～3 年或自行规定。 （2）大修后。 （3）必要时	（1）吸收比（10～30℃）不低于 1.3 或极化指数不低于 1.5。 （2）绝缘电阻应折算到同一温度下，与前一次结果比应无明显变化	吸收比和极化指数不进行温度换算
3	绕组的介质损耗因数 $\tan\delta$		（1）20℃时应小于：35kV 以下 1.5%。 （2）与以前相比小于 30%。 （3）试验电压为额定值	非被试绕组应接地或屏蔽
4	绝缘油试验		击穿电压≥25kV	
5	交流耐压试验	（1）1～5 年（10kV 以下）。 （2）大修后。 （3）更换绕组后。 （4）必要时	10kV 绕组的耐压值为 30kV	
6	铁芯绝缘电阻	（1）1～3 年或自行规定。 （2）大修后。 （3）必要时	（1）与以前测试结果比无明显差别。 （2）运行中铁芯接地电流一般不大于 0.1A	采用 2 500V 摇表
7	绕组泄漏电流		试验电压为 10kV	1min 读数
8	测温装置及其二次回路		（1）密封良好，指示正确，测温电阻值应和出厂值相符； （2）绝缘电阻大于 1MΩ	2 500V 摇表
9	气体继电器及其二次回路		整定值符合运行要求，动作正确，绝缘电阻值大于 1MΩ	2 500V 摇表

3.3.2　交流异步电动机的检修周期及项目

加油站 1——检修周期

交流异步电动机检修周期的规定，原则上两年大修一次，一年小修两次。

加油站 2——三相交流电动机小修项目

（1）吹风清扫和测试，并进行一般性的机械检查和处理。
（2）交流电动机的轴承清洗检查。
（3）集电环清扫，更换电刷并调整好。
（4）局部解体检查，并处理一般的缺陷，如绝缘局部修补等。
（5）紧固各部分松动螺钉或垫片等，加强绑扎和局部涂漆等处理。

加油站 3——交流电动机中修项目

（1）包含小修的全部检修项目。
（2）对集电环表面进行加工和处理。
（3）更换减速电动机转子绕组的局部线圈，对个别线圈进行绝缘修理。
（4）解体清扫和检查，并进行组绝缘状态的鉴定。
（5）检查和处理磁极线圈，更换局部绝缘，对磁轭、磁极、支架、斜键等进行检查加固，采取小的改进措施。
（6）进行轴承清洗、更换、刮研轴瓦等。
（7）检查机械零部件的质量，并做好加强和改进的措施。
（8）更换刷架，调整电刷。
（9）进行绕组干燥和喷漆处理。
（10）对启动绕组、导条及端环进行检查和加强焊接，局部更换端环连接板。

加油站 4——三相交流电动机大修项目

（1）包含中修的全部检修项目。
（2）刷架全部更换、检修和调整。
（3）更换转子磁极铁芯和全部磁极线圈，更换全部斜键等。
（4）绕组全部更换、重绕。
（5）减速电动机的转子调动平衡。
（6）零部件重新制造与更换，如集电环进行更换、转轴更换等。
（7）减速电动机轴承更换和修理，如重新注瓦、刮研。
（8）修理或更换机座、铁芯，并进行喷漆处理。

（9）解体检查和鉴定，并实施机械零部件的重大改进措施，如改进冷却系统、油系统、机械结构等。

3.3.3 直流电动机的检修周期及项目

加油站 1——检修周期

直流电动机一般规定一年半大修一次，3～6 个月小修一次。主机附属的设备随主机进行检修。

加油站 2——小修项目

（1）检测电动机的绝缘电阻，应不低于 1MΩ。

（2）电动机不拆大盖吹灰、清擦。

（3）打开轴承盖，检查轴承、油质、油量，必要时补油、清洗、换油、换轴承。

（4）检查电动机引线绝缘有无破损、老化，接线鼻所包绝缘剥开检查有无过热氧化，接线螺钉有无松动。

（5）检查刷握装置是否符合设计角度，刷握下沿换向器表面应留有 2～3mm 间隙，各排电刷应与换向片平行，其平行度应不超过 0.5mm。

（6）检查电刷的长度，最短不得低于刷握高度的 1/3，应无破损、掉角，接触面应光滑如镜，无粗糙、脏污、烧焦和附着硬粒、划痕等现象。更换电刷时，新换电刷的型号和规格应尽量与原来的一样，调整压力应一致，其数值为 0.25～0.35kg/cm。更换数量超过 1/2 以上，应先以 1/4～1/2 额定负荷运行 12h 后，再满负荷运行。

（7）电刷引线长度应适宜，无过热、变色、断股等现象。接线鼻应完整，接触紧密、无开焊现象。

（8）电刷除接触面外，各对应平面应平行，与刷握间留有 0.1～0.2mm 的间隙。

（9）换向器表面应光滑，换向片无松动现象。

加油站 3——大修项目

1）电动机的分解

（1）要求绘出各磁极、刷架、引出线板接线图，并应做好记号。

（2）做好刷架位置记号，测量刷架间的距离（可用长方形纸条压在电刷下绘出）。拆除刷架时，应先将整流子用纸板或橡皮包好，以免碰伤整流子。

（3）测量电枢与主磁极及辅极间的间隙。测间隙时可用带有锥度的专用塞尺，也可用感应降压法测量。

2）定子的检修

（1）用 0.098～0.196MPa 干燥洁净的压缩空气吹扫磁极铁芯和线圈，并用汽油或四氯化碳擦去油污。

（2）检查各磁极及其线圈应不松动，各绝缘垫片应完好牢固。线圈绝缘应良好，无过热变色、老化脆裂现象。用 500V 摇表测量线圈绝缘电阻，应不低于 0.5MΩ。测量各磁极线圈直流电阻，折算到同一温度下，各磁极与过去比较，均不得大于 2%。

（3）各磁极接线连接良好，接线板清洁完好，各线头标志清楚。

（4）磁极铁芯与外壳连接牢固，机壳完好，无裂纹。当因检修需拆除磁极时，一定要做好位置记号。

3）电枢与整流子的检查和修理

（1）用 500V 摇表测量电枢对地、绑线对电枢及绑线对地的绝缘电阻应不低于 0.5MΩ。

（2）检查电枢铁芯应无锈蚀、摩擦过热痕迹，铁芯应压紧良好，不松动，绑线应无开焊松动。风扇固定应可靠，无变形裂纹，若有上述缺陷应予以消除。

（3）整流子表面应无烧伤变色、变形，当整流子在运行中冒火严重时，应检查整流子晃度，若超过 0.05mm，磨损深度超过 0.5mm，应进行车削，车削前要找正中心。当整流子直径小于厂家规定的最小直径时，应更换整流子。

（4）修刮片间云母，要求低于整流片 1～1.5mm，整流片两侧应倒 45°角，倒角深度为 0.5mm，不得有毛刺。

（5）整流子下的云母绑线不应松动，不枯朽，平衡盘牢固。

（6）测量片间直流电阻，相互差不得超过最小值的 10%。

3.3.4 电力电缆的检修周期及项目

加油站 1——小修项目

（1）摇测绝缘电阻。

（2）清擦电缆终端，及时处理渗、漏油等现象。

（3）检查接地线，检查外包绝缘应良好。

加油站 2——大修项目

（1）高压电缆按规定进行直流泄漏试验，低压电缆摇测绝缘电阻。

（2）清擦电缆终端头，及时处理渗油等缺陷。

（3）检查接地线，检查外包绝缘。

（4）清除接线鼻的氧化层。

中转站——电力电缆定期试验项目的一般规定

（1）新敷设的电缆线路投运 3～12 个月应做一次直流耐压试验，以后按正常周期试验。

（2）额定电压为 0.6/1kV 的电缆线路，可用 1 000V 或 2 500V 兆欧表测量对地绝缘电阻，代替直流耐压试验。

（3）耐压试验后，使导体放电时，必须通过每千伏约 80kΩ的限流电阻反复几次放电至无火花后，才允许直接接地放电。

（4）除自容式充油电缆外，其他电缆线路在停电投运前，必须确认绝缘良好。凡停电超过一星期但不满一个月的电缆线路，应用兆欧表测量该电缆导体对地绝缘电阻，当有疑问时，必须用低于常规直流耐压试验的直流电压进行试验，加压时间为 1min；停电超过一个月但不满一年的电缆线路，必须用 50%规定试验电压值的耐压试验，加压时间为 1min；停电超过一年的电缆线路，必须做常规的直流耐压试验（有的企业标准规定做交流耐压试验）。

加油站 3——电力电缆试验项目、周期和要求

橡塑绝缘电力电缆试验项目、周期和要求见表 3-9。

表 3-9　橡塑绝缘电力电缆试验项目、周期和要求

<table>
<tr><th>序　　号</th><th>项　　目</th><th>周　　期</th><th>要　　求</th><th>说　　明</th></tr>
<tr><td>1</td><td>电缆主绝缘的绝缘电阻</td><td rowspan="3">（1）重要电缆：1 年；
（2）一般电缆 3.6/6kV 及以上 3 年，以下 5 年</td><td>自行规定</td><td>0.6/1kV 电缆用 1 000V 摇表，0.6/1kV 以上电缆用 2 500V 摇表，3.6/6kV 及以上也可用 2 500V 摇表</td></tr>
<tr><td>2</td><td>电缆外护套的绝缘电阻</td><td rowspan="2">每千米绝缘电阻值不低于 0.5MΩ</td><td>采用 500V 摇表，当每千米绝缘电阻低于 0.5 MΩ时应判断外护套是否进水</td></tr>
<tr><td>3</td><td>电缆内衬层绝缘电阻</td><td>采用 500V 摇表，当每千米绝缘电阻低于 0.5MΩ时应判断内衬层是否进水</td></tr>
<tr><td>4</td><td>电缆主绝缘直流耐压试验</td><td>新做终端或接头后</td><td>（1）试验电压（单位为 kV）按下表规定，加压时间为 5min，不击穿。
<table>
<tr><th>U_0/U</th><th>直流试验电压</th><th>电缆额定电压</th></tr>
<tr><td>1.8/3</td><td>11</td><td>21/35</td></tr>
<tr><td>3.6/6</td><td>18</td><td>26/35</td></tr>
<tr><td>6/6</td><td>25</td><td>48/66</td></tr>
<tr><td>6/10</td><td>25</td><td>64/110</td></tr>
<tr><td>8.7/10</td><td>37</td><td>127/220</td></tr>
</table>
（2）耐压 5min 的泄漏电流不应大于耐压 1min 的泄漏电流</td><td></td></tr>
</table>

3.3.5　母线的检修周期及项目

加油站 1——检修周期

1）大修周期

（1）新安装的 6～35kV 室内母线投运一年应进行一次检修（包括清扫、耐压试验），以后按周期进行。

（2）室内母线按每 3 年进行一次。

（3）室外母线按每 5 年大修一次。

2）小修周期

小修周期视具体情况而定，一般一年应进行 1～2 次。

加油站 2——硬母线的大修项目

1）硬母线的一般检修

（1）清扫母线，消除积灰和脏污；检查相序颜色，要求颜色鲜明，必要时应重新刷漆或补刷脱漆部分，摇测绝缘电阻应合格。

（2）检修母线接头，要求接头应接触良好，无过热现象。其中，螺栓连接的接头螺栓应拧紧，平垫和弹垫应齐全。用 0.05×10mm 塞尺检查，局部塞入深度不得大于 5mm；采用焊接连接的接头应无裂纹、变形和烧毛现象，焊缝凸出成圆弧形；铜铝接头应无接触腐蚀。

（3）检修绝缘子和套管，要求绝缘子和套管应清洁完好，用 1 000V 摇表摇测母线绝缘电阻应符合规定。若母线绝缘电阻较低，应找出故障原因并消除，必要时予以更换。

（4）检查母线的固定情况，要求母线固定平整牢固；并检修其他部件，要求螺栓、螺母、垫圈齐全，无锈蚀，片间撑条均匀。必要时应对支撑绝缘子和多层母线上的撑条进行调整。

2）硬母线接头的解体检修

（1）接触面的处理。应消除接触面的氧化膜、气孔或隆起部分，使接触面平整而略显粗糙。

（2）拧紧接触面的连接螺栓。螺母拧紧后应使用 0.05mm 的塞尺检查接头的紧密程度。

（3）为防止母线接头表面及接缝处氧化，在每次检修后要用油膏填塞，然后再涂以凡士林油。

（4）更换已失去弹性的弹簧垫圈和损坏的螺栓、螺母。

训练场——架空母线的检修

（1）清扫母线各部分，使母线各部分本身清洁并且无断股和松股现象，摇测绝缘电阻应合格。

（2）清扫绝缘子串上的积灰和脏污，更换表面发现裂纹的绝缘子。

（3）绝缘子串各部件的销子和开口销应齐全，损坏的应予以更换。

（4）接头发热的处理方法如下：

① 清除导线表面的氧化膜，使导线表面清洁，并在线夹内表面涂以工业凡士林油或防冻油。

② 更换线夹上失去弹性或损坏的各个垫圈，拧紧已松动的各式螺栓。

③ 对接头的接触面用 0.05mm 的塞尺检查时不应塞入 5mm 以上。

④ 更换已损坏的各种线夹和线夹上的钢制镀锌件。

⑤ 处理完毕，在接头接缝处用油膏填塞后再涂以凡士林油。

3.3.6　10kV 真空断路器的检修周期及项目

加油站 1——检修周期

1）大修周期

（1）新装断路器投运一年后应进行一次大修，检修项目根据情况而定。

（2）对真空断路器应视真空度及气体运行情况确定是否大修，一般要求周期为 10 年；

预试周期为 3 年。

2）小修周期

小修周期一般规定为 3 年。

加油站 2——大修项目

10kV 真空断路器的大修项目见表 3-10。

表 3-10　10kV 真空断路器的大修项目

序　　号	部　　件	项　　目
1	断路器本体	（1）支持套管及提升杆的分解检修； （2）主轴及传动装置的分解检修； （3）整体清扫、除锈、刷漆； （4）断路器调整试验
2	电磁机构	（1）机构部分分解检修； （2）电气有关部分分解检修； （3）分、合闸线圈端子电压测量； （4）分、合闸试验
3	弹簧机构	（1）储能及合闸传动系统的检修； （2）分闸脱扣系统的检修； （3）机构箱本体清扫，除锈、刷漆及密封的检查； （4）分、合闸试验

加油站 3——小修项目

10kV 真空断路器的小修项目见表 3-11。

表 3-11　10kV 真空断路器的小修项目

序　　号	部　　件	项　　目
1	断路器本体	（1）引线导电板的固定螺栓检查； （2）清扫检查瓷套管； （3）检查传动机构； （4）检查合闸保持弹簧
2	电磁机构和弹簧机构	（1）清扫操动机构转轴、联板、杠杆，添加润滑油，检查储能电动机和加热器； （2）检查机构箱内端子排及操作回路接线的紧固情况和绝缘辅助开关固定及动作位置情况； （3）检查航空插头是否处于完好状态，插头应无锈蚀，接触应良好； （4）分、合闸操作试验

中转站——真空断路器定期试验项目

10kV 真空断路器的定期试验项目见表 3-12。

表 3-12　10kV 真空断路器的定期试验项目

序　号	项　目	周　期	要　求	说　明
1	绝缘电阻	（1）1～3 年； （2）大修后	（1）整体绝缘电阻参照制造厂家规定； （2）断口和用有机物制成的提升杆的绝缘电阻应不低于 300MΩ	
2	交流耐压试验（断路器主回路对地、相间及断口）	（1）1～3 年； （2）大修后； （3）必要时	断路器在分、合闸状态下分别进行，试验电压值参照 DL/T593 规定值	（1）更换干燥后的绝缘提升杆必须进行耐压试验，耐压设备不能满足时可分段进行； （2）相间、相对地及断口的耐压值相同
3	辅助回路和控制回路交流耐压试验	（1）1～3 年； （2）大修后	试验电压为 2kV	
4	导电回路电阻		（1）大修后应符合制造厂家规定； （2）运行中自行规定，建议不大于 1.2 倍出厂值	用直流降压法测量电流不小于 100A
5	合闸接触器和分、合闸电磁铁的最低动作电压		（1）绝缘电阻值应不小于 2MΩ； （2）直流电阻应符合制造厂规定	采用 1 000V 摇表
6	真空灭弧室的真空度	大、小修时	自行规定	有条件时进行

3.4　电气设备检修管理与验收

3.4.1　电气设备检修管理

加油站 1——电气设备检修及维护的原则

（1）贯彻“预防为主”的原则，应把设备故障消灭在萌芽状态，监督操作者按设备使用规程的规定正确使用设备，防止设备事故的发生，延长设备使用寿命和检修周期，保证设备的安全运行，为生产提供最佳状态的生产设备。

（2）坚持使用和检修及维护相结合原则，操作人员在设备日常维护工作中做到“三好”（管好、用好、维护好），“四会”（会使用、会保养、会检查、会排除常见故障）。

（3）坚持合理规划科学检修与维护的原则，设备维护工作的重点，体现在提高维修工作质量、减少故障停机时间、提高设备使用率。要满足这些就必须做到合理规划，实现生产维修两不误，同时采用科学的维护方法，以达到效率的最大化。

加油站 2——电气设备检修管理制度

（1）坚持计划检修。必须按时编制年度检修和更新改造计划，并且根据年度计划安排月度检修计划，减少直至杜绝无计划检修。

（2）重要设备检修要拟定专门的检修实施技术方案，并经电网主管部门批准后，方可实施。主要内容包括：

① 检修项目、进度安排、质量要求。

② 检修的安全、组织、技术措施。

③ 主要材料、设备及必要的工具、器械。

（3）坚持检修设备验收制度。检修完工后要组织领导、检修、运行三方参加的验收，验收要有报告，有结论。

（4）检修工作必须严格执行《电业安全工作规程》的各项要求。无论何种情况，工作票必须提前一天送达变电运行管理中心，否则，运行人员有权拒绝操作。严禁无票和使用草票进行倒闸操作。

（5）10kV 线路分支线检修、安装工作必须履行必要的许可手续，办理工作票后，方能开始工作。

3.4.2 电气设备检修的三级验收

加油站 1——三级验收

三级验收是班组、部门、公司三个管理层次根据检修的性质和要求对不同检修项目进行分级验收的制度。

三级验收必须按规定的项目进行，验收人员应坚持原则，坚持标准，严格把关，热情指导，对自己验收的项目做出评价，并签字负责。

加油站 2——三级验收的方法

1）零星验收方法

在某一设备检修工作结束或设备检修的某一工序完成后，检修工作负责人应认真进行自检，认为检修质量符合要求，各种技术记录齐全、试验报告完备，即可向检修班长申请进行零星验收。

验收时，验收人必须仔细听取检修工作负责人对检修工作的汇报，认真审阅检修工作卡片或现场记录簿上的施工记录、各种技术数据和试验报告，必要时对某些有疑问的重要数据进行现场实测。对某些特殊工艺必须检核特殊记录（如高压管道的焊接应核对焊接人的钢印代号等）。

验收负责人若发现某些检修质量不符合标准或技术记录不全，应及时指出，由检修人员返工或补全，经验收负责人再次检查认可后，根据检修质量标准进行评价，并在检修工作卡片上签字负责。

2）分段验收方法

应进行分段验收的检修项目完成后，由检修工作负责人填写“设备检修分段验收证书”，向部门申请进行分段验收。

验收人员应仔细听取检修工作负责人对检修情况及零星验收情况的汇报，认真检查各项施

工技术记录和有关试验报告，必要时对某些有疑问的重要数据进行现场实测，凡能够转动的机械都应进行试转。

对验收中发现的检修质量或技术数据不符合要求处，应坚持返工处理补齐数据，直至达到质量标准的要求，再重新履行验收手续。

经过检查和试验认为满意后，可根据质量标准进行评价。验收人员应在“设备检修分段验收证书”上签署验收意见。

3）总体验收方法

主设备 A 级检修投运一个月后，检修各专业应向公司上报“A 级检修总结”。由生产副总经理或总工程师主持召开公司验收委员会会议，根据主设备冷、热态总体验收的评价及主设备运行的情况和技术状况，做出最终验收评价。

各级验收的评价分为优、良、合格、不合格四种。

中转站——三级验收的项目

某发电厂电气设备检修三级验收的项目见表 3-13，变压器检修验收单见表 3-14。

表 3-13　某发电厂电气设备检修三级验收的项目

序　　号	项　　目	参加验收单位和人员
1	发电机定子检修	技术管理部门、检修部门
2	发电机转子、励磁系统和励磁回路设备检修	总工、技术管理部门、检修部门
3	主变压器、高压备用变压器检修	总工、技术管理部门、检修部门
4	低压厂用变压器检修	检修部门
5	高压开关检修（110kV）	技术管理部门、检修部门
6	110kV 以下开关检修	检修部门
7	电流、电压互感器检修（110kV）	技术管理部门、检修部门
8	110kV 以下电流互感器检修	检修部门
9	发电机小室检修	检修部门
10	给水泵电动机检修	技术管理部门、检修部门
11	电动机检修	检修部门
12	母线及发变组继电保护整定	技术管理部门、检修部门
13	继保定校、自动装置检修	检修部门
14	电气仪表、变送器检修	检修部门、运行部门
15	母线及金具检修、清扫	技术管理部门、检修部门
16	配电盘及二次线检修	检修部门
17	厂用高、低压电器检修，电除尘装置电气部分	检修部门
18	电缆检修	检修部门
19	蓄电池及直流系统检修	检修部门
20	照明检修	检修班组
21	一般特殊项目	检修部门
22	重大特殊项目	总工、技术管理部门、检修部门、运行部门
23	机炉辅助保护自动装置联锁	检修部门

表 3-14 变压器检修验收单

序 号	项 目	验 收 标 准	检 验 情 况	处 理 意 见
1	外观	（1）铭牌清晰 （2）无损坏及锈蚀现象		
2	变压器检查	（1）接线端子与导线连接紧密，无应力		
		（2）紧固件装置完整齐全（各种螺钉、卡簧等齐全）		
		（3）变压器接线线阻绝缘完好、无伤痕，无断裂现象；引线焊接牢固，电机内部清洁，通风孔道无阻塞		
		（4）变压器油位、油色正常，无渗油、漏油现象		
		（5）高低压套管无破损、放电迹象，干净无污渍		
		（6）气体继电器内无气体存在，分接头位置正确		
		（7）变压器卫生清洁、无灰尘		
		（8）外观良好、无损伤，运行声音正常		
		（9）高压电缆封头无损坏及其他异常情况		
		（10）变压器冷却风道通畅、无阻塞		
3	接地（接零）	连接紧密、牢固，导线截面符合要求		
4	变压器绝缘	相间绝缘：高压侧 AB__MΩ，BC__MΩ，AC__MΩ；低压侧 AB__MΩ，BC__MΩ，AC__MΩ		
		直流电阻：高压侧 AB__Ω， BC__Ω， AC__Ω；低压侧 AB__Ω， BC__Ω， AC__Ω		
		绕组对地≥500MΩ，实测值____ MΩ		
5	试运行情况	（1）变压器无异常振动、发热及异常音响		
		（2）变压器油温正常（上层油温＜85℃），运行声音正常	实测值：__℃	
		（3）变压器运行电流正常	A：__A B：__ A C：__ A	
6	更换元器件明细			
7	检修注意事项	（1）穿工作服，戴好手套，戴安全帽		
		（2）严格遵守电气操作规程		
		（3）检修前必须停电，验明确无电压且挂牌后方可检修		
		（4）设置专职监护人，防止误送电		
		（5）严格执行工作票制度		
		（6）高处作业系好安全带，上下传递物品用传递绳传递，严禁抛掷		
		（7）出现异常情况立即停止工作，确定无碍后方可继续检修		
		（8）试车时若出现剧烈振动、冒烟、超温、过流等异常现象应立即停机检查处理		

第 4 章　电气线路故障检修

4.1　照明电路及灯具的检修

4.1.1　照明电路故障类型及检修程序

加油站 1——照明电路的故障类型及原因

照明电路是电力系统中的重要负荷之一，它的供电常采用 380/220V 三相四线制（TN-C 接地系统）交流电源，也可采用有专用接零保护线（PE）的三相四线制（TN-C-S 接地系统）交流电源。

照明电路是由引入电源线连通电能表、总开关、导线、分路出线开关、支路、用电设备等组成的回路。

照明电路在使用中甚至在安装后交付使用之前，每个组成元件因种种原因都可能发生这样或那样的故障。照明电路常见的故障主要有短路、断路和漏电三种，见表 4-1。

表 4-1　照明电路的故障类型及原因

故障类型	故障现象	故障原因	说明
短路故障	短路时，线路电流很大，熔丝迅速熔断，电路被切断。若熔丝选择太粗，则会烧毁导线，甚至引起火灾	（1）接线错误，相线与零线相碰接； （2）导线绝缘层损坏，在损坏处碰线或接地； （3）用电器具内部损坏； （4）灯头内部松动致使金属片相碰短路； （5）灯头进水	漏电与短路的本质相同，只是事故发展程度不同而已，严重的漏电可能造成短路
漏电故障	漏电时，用电量会增多，人触及漏电处会感到发麻。测绝缘电阻时阻值变小	（1）绝缘导线受潮、污染； （2）电线及电气设备长期使用，绝缘已老化； （3）相线与零线之间的绝缘受到外力损伤，而形成相线与地之间的漏电	
断路故障	断路时，电路无电压，照明不亮，用电器具不能工作。 零线断线造成的电压不平衡现象，常会造成在高电压的一相中正在使用的电器损坏，在零线断线负荷一侧的断线处将出现对地电压	（1）熔丝熔断； （2）导线断线； （3）线头松脱； （4）开关损坏； （5）人为原因或其他意外原因引起线路断路	照明电路的断路故障可分为全部断路、局部断路和个别断路 3 种

加油站 2——照明电路故障检修的一般程序

检修照明电路时，最花费时间和精力的是故障部位的判断与找出失效电气元器件，故障部

位和失效电气元器件找到后，修理和更换元器件实际上并没有太大的困难。因此，掌握维修技术就要首先学会故障的分析、判断方法，并掌握一些技巧。

照明电路的故障现象多种多样，可能出现故障的部位不确定。为了比较迅速地排除故障，通常应按照以下检修程序进行。

1）确定维修方案

某一地区照明全部熄灭，肯定是外线供电出现故障或停电；而相邻居室照明正常，自家居室照明熄灭，则故障出现在内线或引入线。

2）先易后难，缩小故障范围

根据故障现象，一般配电箱（配电板）电路和用电器具的测量与检查比较方便，应首先进行，然后进行线路的检查。

3）分清故障性质

分析故障现象，分清是断路故障还是短路故障，以选择相应的方法做进一步检查。

4）确定故障部位

通过测量、检查，确定故障是存在于干线、支线，还是用电器具的某一部位。

5）故障点查找

常用的电压测量点主要有配电箱上的输入、输出电压，用电器插座电压，照明灯座电压。检查故障发生的重点部位是配线的各接线点、开关、吊线盒、插座和灯座的各接线端。

6）故障排除

找到故障点后，应根据失效元器件或其他异常情况的特点采取合理的维修措施。例如，对于脱焊或虚焊，可重新焊好；对于元件失效，则应更换合格的同型号规格元器件；对于短路性故障，则应找出短路原因后对症排除。

中转站 1——停电检修安全措施

照明线路检修一般应停电进行。停电检修不仅可以消除检修人员的触电危险，而且能解除他们工作时的顾虑，有利于提高检修质量和工作效率。

（1）停电时应切断可能输入被检修线路或设备的所有电源，而且应有明确的分断点。在分断点上挂上“有人操作，禁止合闸”的警告牌，如图 4-1 所示。如果分断点是熔断器的熔体，最好取下带走。



图 4-1　停电检修应悬挂警告牌

（2）检修前必须用验电笔复查被检修电路，证明确实无电时，才能开始动手检修。

（3）如果被检修线路比较复杂，应在检修点附近安装临时接地线，将所有相线互相短路后再接地，人为造成相间短路或对地短路，如图 4-2 所示。这样，在检修中万一有电送来，会使总开关跳闸或熔断器熔断，以避免操作人员触电。

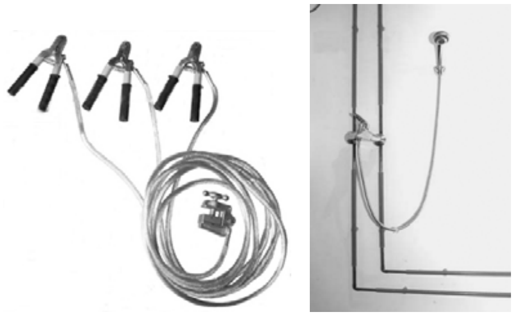


图 4-2　临时接地线及应用

（4）线路或设备检修完毕，应全面检查是否有遗漏和检修不合要求的地方，包括该拆换的导线、元器件，应排除的故障点，应恢复的绝缘层等，是否全部无误地进行了处理；有无工具、器材等留在线路和设备上，工作人员是否全部撤离现场。

（5）拆除检修前安装的作保安用的临时接地装置和各相临时对地短路线或相间短路线，取下电源分断点的警告牌。

（6）向已修复的电路或设备供电。

中转站 2——带电作业安全措施

（1）带电作业所使用的工具，特别是通用电工工具，应选用有绝缘柄或包有绝缘层的。

（2）操作前应理清线路的布局，正确区分出火线、零线和保护接地线，理清主回路、二次回路、照明回路及动力回路等。

（3）对作业现场可能接触的带电体和接地导体，应采取相应的绝缘措施或遮挡隔离。操作人员必须穿长袖衣和长裤、绝缘鞋，戴工作帽和绝缘手套，并扎紧袖口和裤管。

（4）应安排有实际经验的电工负责现场监护，不得在无人监护的情况下，个人独立带电操作。

4.1.2　照明电路检修方法



训练场 1——短路故障的检修

照明电路的所有用电器都采用并联，所以线路中任何部位出现短路故障，都会熔断熔丝。短路故障的特征是整个配电板熔丝熔断，整个线路照明灯熄灭，如图 4-3 所示。

短路故障现象的特点比较明显，但确定故障发生的部位却比较复杂，通常可采用校验灯法和电阻法检查故障所在。

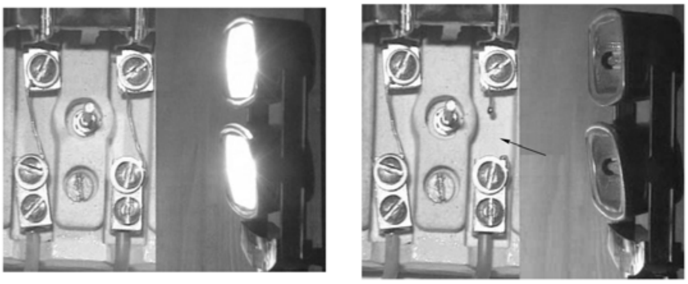


图 4-3　线路短路导致照明灯熄灭

1）校验灯法

校验灯又称为校火灯、试灯。它是在灯泡两端接两根电源线做成的一种简单的测试工具，如图 4-4 所示。校验灯可以检查电压是否正常、线路是否断线或接触不良等。

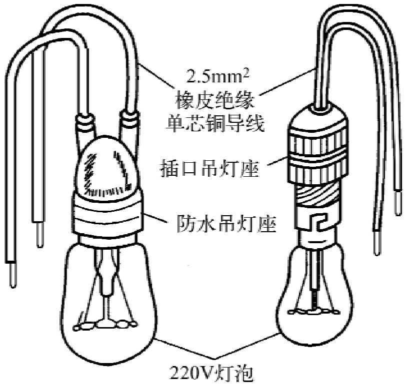


图 4-4　校验灯

发生短路后，拉下配电板上的刀开关，取下线路中所有的用电器。检查配电板上的总熔丝，使一路熔丝保持正常接通状态，取下另一路熔丝。用一只 40W 或 60W 的白炽灯作为校验灯，串联在取下熔丝的两接线柱上。合上刀开关，如果校验灯发光正常，说明总干线或某分支线路有短路或漏电现象存在（如图 4-5 所示），然后逐段寻找短路或漏电部位。必要时切断所怀疑部分的一段导线，若这时校验灯熄灭，则表明短路现象存在于该部位。

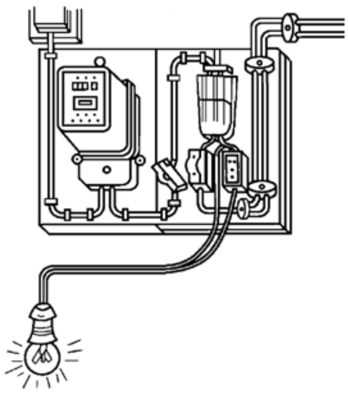


图 4-5　用校验灯检查短路故障

接通电源，校验灯不发光，说明线路无短路现象存在，短路故障是由用电器引起的。这时可逐个接入用电器，正常现象是校验灯发红，但远达不到正常亮度。若接入某一用电器时，校验灯突然接近正常亮度，则表明短路故障存在于该用电器内部或其电源线内。这时可切断电源，仔细检查。

2）电阻法

电阻法是使用万用表的电阻挡，测量导线间或用电器的电阻值，来判断短路部位的一种方法。发生短路后，拉下配电板上的刀开关，并取下所有的用电器，用万用表“R×100”电阻挡，测量相线和零线的电阻值。如果指针趋于零（或产生偏转），说明线路有短路（或漏电）现象，逐段检查干线和各分支线路，必要时切断某一线路，测量两线的电阻，确定故障所在。

中转站——校验灯使用方法

1）检查电路是否有电

根据被测电路的电压选择合适的灯泡，如测量 220V 线路时可用一只 220V 灯泡，然后将校验灯的两端直接并联在被测电路上，若灯泡亮，则表明电路有电，否则说明电路可能停电或有一根导线断线。

2）判断接触不良

在如图 4-6 所示的电路中，灯泡不亮，可能是熔丝熔断、导线断线，也可能是开关或灯口接触不良。检查时将校验灯的两端依次并接在熔断器、开关、导线段、灯口两端，灯泡亮时，表明所并联的元件或导线断路。

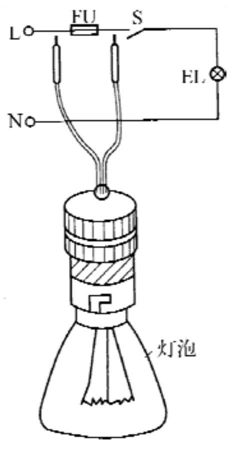


图 4-6　用校验灯检查照明电路

3）使用注意事项

（1）灯泡的额定电压应与被测电压相匹配，防止电压过高将灯泡烧坏。电压过低时，灯泡不亮。一般检查 220V 控制电路时，用一只 220V 灯泡；检查 380V 控制电路时，要用两只 220V 灯泡串联；检查 36V 控制电路时，要用 36V 的低压灯泡。

（2）查找断路故障时，宜用 15～60W 的灯泡；而查找接触不良故障时，宜采用 150～200W 的灯泡。

（3）校验灯的导线裸露部分不要太长，以防引起触电或短路事故。

指点迷津——校验灯检查短路故障

将校验灯接入主电路，与该电路后面的用电设备串联，当电路正常通电运行时，校验灯与后面各用电设备处于分压状态，由于其他用电设备分去了部分电压，使校验灯得不到额定电压，所以灯泡不能正常发光，只能发红甚至不亮，亮的程度也与分压大小有关。若线路和设备有短路故障，则使校验灯以后的电路电阻趋近于零，全部电源电压加在校验灯上，校验灯便能正常发光。

训练场 2——整个线路灯不亮的检修

这类故障主要发生在干线上，配电和计量装置中及进户装置的范围内。通常，首先应依次检查上述部分每个接头的连接处（包括熔丝接线柱），一般以线头脱离连接处最为常见；其次，检查各线路开关动、静触头的分、合闸情况。

判断断路最简便的方法是使用试电笔检查。一般先测量相线熔丝处是否有电，以区分断路发生在配电板上还是其后干线上；然后用试电笔沿相线逐段检测，断路点在有电和无电的线路之间，检测的重点是干线导线的连接处。

训练场 3——部分照明灯不亮的检修

这种故障是由分支线路存在断路引起的，可参照总干线断路的检查方法确定故障所在，检查的重点是总干线与分支线路的连接处。

如果某一照明灯不亮或某一用电器不工作，一般是用电器本身或用电器到分支线路的导线存在断路造成的，如图 4-7 所示。



图 4-7　分支线路断路故障

用试电笔判断故障点很方便。用试电笔分别接触装有灯泡的灯座两接线柱，如果试电笔氖管都不亮，表明连接灯座的相线断路；如果只在一个接线柱上氖管发亮，表明灯丝断或灯头与灯座接触不良。

训练场 4——照明灯发光不正常的检修

这类故障现象多为灯光暗淡、闪烁或有时特别亮。灯光暗淡或灯光特别亮，可能是受外线

电压的影响，由于外线电压过低或过高造成。线路中有漏电或局部短路的存在是引起灯光变暗的主要原因，如图 4-8 所示的导线接头绝缘未处理好，使连接处漏电。

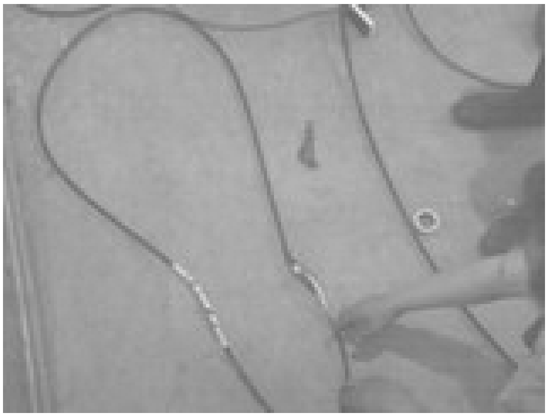


图 4-8　导线接头处漏电

观察电能表，若转盘旋转明显变快，或者关闭室内所有开关和用电器后，电能表的转盘仍然旋转，说明室内存在短路故障，可参照短路检修方法排除。

如果是个别灯泡灯光暗淡，排除该灯泡质量不佳的原因，则可能是灯座、开关或导线对地漏电。

线路中接线处因接触不良或有跳火现象，常引起灯光闪烁。其原因可能是开关、灯头接触不良造成的。维修时断开开关，取下灯泡，打开灯头观察接线，若接触不良应重新接好。如果是挂口灯头，应取下灯泡，修理弹簧触点使其有弹性，或更换新灯头；若是螺口灯头，在取下灯泡后，可将灯头中间的铜皮舌头用电笔头向外勾出一些，使其与灯泡接触更加牢靠。

中转站——造成灯泡电压不足的原因

1）灯座、开关或导线对地严重漏电

电路和电器严重漏电，加重电路负荷，会使灯泡两端电压下降，造成发光暗淡。应逐点检查灯座、开关、插座和线路接头，特别要细心检查导线绝缘破损处，线路的裸露部分是否碰触墙壁或其他对地电阻较小的物体，线头连接处绝缘层是否完全恢复、线路和绝缘支持物是否受潮或受其他腐蚀性气体、烟雾等的侵蚀，进出电线管道处的绝缘层是否有破损。

2）灯座、开关、熔断器等接触电阻大

如果这些器件接触不良使接触电阻变大，电流通过时发热，将损耗功率，使灯泡供电电压不足，发光暗红。检查这类故障时，在线路工作状态，只要用手触摸上述电器的绝缘外壳，就会有明显温升的感觉，严重时特别烫手。对这种电器应拆开外壳或盖子，检查接触部位是否松动，是否有较厚的氧化层，并针对故障进行检修。若是由于高热使触头退火变软而失去弹性的电器，必须更新。

3）导线截面太小，电压损失太大

灯泡发光暗红时，如果不是因为线路负载过重，应怀疑是否是线路电压损失过大造成

的。检查方法是先查线路实际电流，确定是否负荷过重。如果不是，再分别检查送电线路的首尾两端电压，这两者的差值即为电压损失，看其是否超出允许值。若系电压损失过大，一般都通过加大线路横截面来解决。对移动式电器，如果条件允许，还可用减小导线长度来解决。

4）金属线管涡流损耗造成线路损失大

单根导线穿过钢管时，钢管成为环形磁性物质，与导线中的交变电流因电磁感应产生涡流并转换成热能，增大线路损失，使灯光暗红。排除这种故障的方法是将一个完整的供电回路穿过同一根钢管，使其各根导线与钢管间的电磁感应产生的效果互相抵消，从而克服管道的涡流损耗。

训练场 5——线路漏电故障的检修

（1）判断是否确实漏电。可用兆欧表摇测其绝缘电阻的大小，或在总闸刀上接一只电流表，接通全部开关，取下所有灯炮。若电流表指针摆动，则说明存在漏电现象。指针摆动的幅度，取决于电流表的灵敏度和漏电电流的大小。确定线路漏电后，可按以下步骤继续检查。

（2）判断是相线与零线间漏电，还是相线与大地间漏电，或者二者兼而有之。方法是切断零线，若电流表指示不变，则是相线与大地间漏电；若电流表指示为零，则是相线与零线间漏电；若电流表指示变小但不为零，则是相线与零线、相线与大地间均漏电。

（3）确定漏电范围。取下分路熔断器或拉开刀闸，若电流表指示不变，则说明总线漏电；若电流表指示为零，则为分路漏电；若电流表指示变小但不为零，则表明是总线、分路均有漏电。

（4）找出漏电点。经上述检查，再依次拉开该线路灯具的开关，当拉到某一开关时，电流表指示返零，则该分支线漏电，若变小则说明除这一分支线漏电外，还有别处漏电；若所有灯具拉开后，电流表指示不变，则说明该段干线漏电。依次将事故范围缩小，便可进一步检查该段线路的接头、导线穿墙处等地点是否漏电。找到漏电点后，应及时消除漏电故障。

指点迷津

为了及时发现漏电故障，应对线路进行定期检查，测量其绝缘阻值。若发现电阻值变小，应及时找到故障点，予以排除。

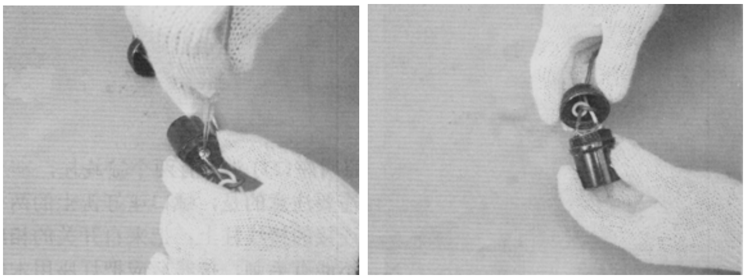
4.1.3 照明灯具故障诊断与排除

训练场 1——白炽灯故障诊断与检修

白炽灯常见故障及检修方法见表 4-2。

表 4-2　白炽灯常见故障及检修方法

故障现象	故障原因	检修方法
灯泡不亮	（1）灯丝断； （2）灯头或开关触点接触不良； （3）熔丝烧毁； （4）电路开路； （5）停电	（1）更换灯泡； （2）修复接触不良的触点，必要时更换灯头或开关； （3）更换熔丝； （4）检查并修复线路； （5）用其他电器予以验明，或观察邻近不是同一个进户点用户的情况予以验明
灯泡发光强烈	灯丝局部短路（俗称搭丝）	更换灯炮
灯光忽亮忽暗，或时亮时熄	（1）灯头或开关触点（或接线）松动，或表面存在氧化层（铝质导线、触点易出现）； （2）电源电压波动（通常由附近有大容量负载经常启动引起）； （3）熔丝接触不良； （4）导线连接不妥，连接处松散	（1）修复松动的触头或接线，如图 4-9 所示；去除氧化层后重新接线，或去除触点的氧化层； （2）与电力部门联系，更换配电变压器，增加容量； （3）重新安装，或加固压紧螺钉； （4）重新连接导线
连续烧断熔丝	（1）灯头或挂线盒连接处两线头互碰； （2）负载过大； （3）熔丝接触不良； （4）导线连接不妥，连接处松散； （5）灯头绝缘受到损伤	（1）重新连接线头； （2）减轻负载或扩大线路的导线容量； （3）正确选配熔丝规格； （4）修复线路； （5）更换灯头
灯光暗红	（1）灯头、开关或导线对地漏电； （2）灯头、开关接触不良，或导线连接处接触电阻增大； （3）线路太长或导线太细，线压降太大	（1）更换完好的灯头、开关或导线； （2）修复灯头、开关中接触不良的触点，重新连接接头； （3）缩短线路长度，或更换较大截面的导线



（a）修理螺口灯头



（b）修理座口灯头

图 4-9　修理灯头连线接头处

指点迷津——保护接零系统的安全要求

比较常用的照明灯控制电路有：一个开关控制一盏灯，如图 4-10 所示；一个开关控制几盏灯，如图 4-11 所示；两个开关控制一盏灯，如图 4-12 所示；多个开关控制一盏灯，如图 4-13 所示。

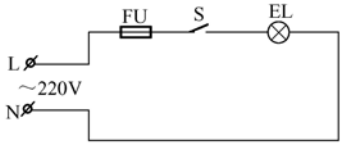
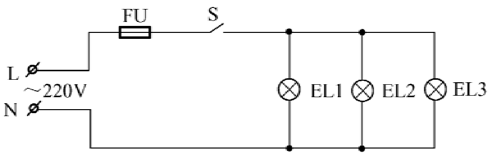
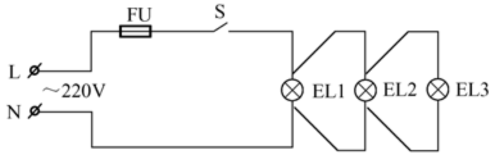


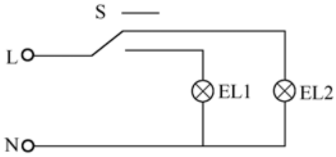
图 4-10　一个开关控制一盏灯



（a）普通接法

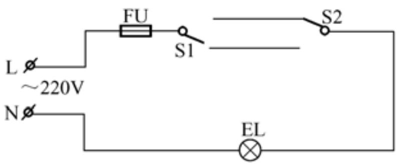


（b）接头安排在灯座中

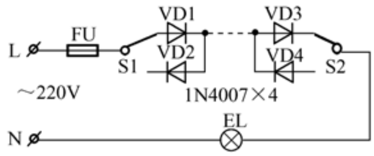


（c）一个开关分别控制两盏灯

图 4-11　一个开关控制几盏灯

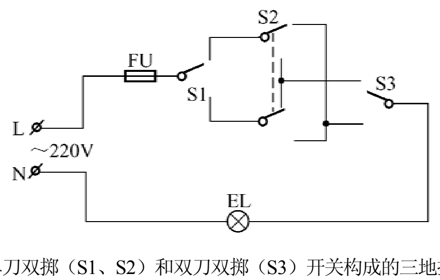


（a）

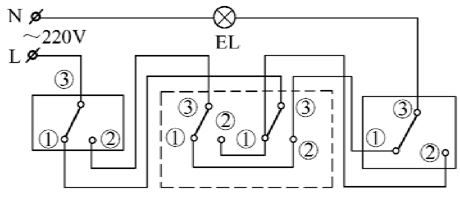


（b）

图 4-12　两个开关控制一盏灯



（a）用单刀双掷（S1、S2）和双刀双掷（S3）开关构成的三地控制一盏灯电路



（b）双刀双掷三地控制一盏灯电路

图 4-13　多个开关控制一盏灯

训练场 2——日光灯故障诊断与检修

日光灯常见故障有不能发光或发光困难、灯光闪烁及灯管两头发光、灯光闪烁或滚动、关灯后有微弱亮光、灯管两头发黑、灯管亮度降低、灯管寿命短和镇流器过热等，其故障原因及检修方法见表 4-3。

表 4-3　日光灯常见故障及检修方法

故障现象	故障原因	检修方法
不能发光或发光困难	（1）电源电压过低； （2）镇流器与灯管规格不配套或镇流器内部断路； （3）灯丝断丝或灯管漏气； （4）启辉器损坏或内部电容器短路； （5）新装日光灯接线错误； （6）灯管与灯脚或启辉器与启辉器座接触不良； （7）电子镇流器的电子元件发生故障	（1）调整电源电压，线路较长时应加粗导线； （2）更换与灯管配套的镇流器； （3）用万用表测灯管两头有无断丝，有断丝应更换新灯管，观察荧光粉有无变色，表面有无开裂，是否漏气等，若存在类似问题均应更换新日光灯管； （4）用万用表检查启辉器里的电容器是否短路，若短路应更换新启辉器，如图 4-14 所示； （5）按线路图检查线路各部位接线是否正确，若接错应及时更正，如图 4-15 所示； （6）灯座与灯管接触处最容易接触不良，应检查修复。另外，重新装调启辉器与启辉器座，使之良好配接，最后检查各个接线端子的螺钉是否紧固； （7）更换电子镇流器
灯光抖动或灯管两头发光	（1）接线有误或灯座与灯管接触不良； （2）电源电压太低或线路太长，导线太细，导致电压降太大； （3）启辉器本身短路或启辉器座两接触点短路； （4）镇流器与灯管不配套或内部接触不良； （5）灯管有质量问题	（1）对照线路图检查实际线路，更正错误线路，修理加固灯脚接触点； （2）检查线路及电源电压，有条件时调整电压或加粗导线、增加截面积； （3）更换启辉器，修复启辉器座的触片位置或更换启辉器座； （4）配换适当的镇流器，加固接线； （5）换新灯管
灯光闪烁或滚动	（1）更换新灯管后出现的暂时现象； （2）日光灯启辉器质量不佳或损坏； （3）镇流器与日光灯不配套或有接触不良处	（1）新灯管一般使用一时间段后即可好转，有时将灯管两端对调一下即可正常； （2）换新启辉器； （3）调换与日光灯管配套的镇流器，或检查接线有无松动，进行加固处理
关灯后有微弱亮光	（1）线路潮湿，开关有漏电现象； （2）开关错接在零线上	（1）将开关进行烘干或绝缘处理，漏电严重时应更换新开关； （2）将开关改接在火线上
亮度降低	（1）温度太低或冷风直吹灯管； （2）灯管老化； （3）线路电压太低或压降太大； （4）灯管上积垢太多	（1）加防护罩并回避冷风直吹； （2）更换新灯管； （3）检查线路电压太低的原因，有条件时可调整线路或增加导线截面使电压升高； （4）断电后清洗灯管并进行烘干处理

续表

故障现象	故障原因	检修方法
灯管两头发黑或产生黑斑	（1）电源电压过高； （2）启辉器质量不好，接线不牢； （3）镇流器与日光灯管不配套； （4）灯管内水银凝结引起长时间的闪烁； （5）启辉器短路，使新灯管阴极发射物质加速蒸发而老化； （6）灯管使用时间过长，灯管两头发黑严重	（1）若电压超过 220V，则应采取降压措施； （2）换新启辉器，检查接线点； （3）更换与日光灯管配套的镇流器； （4）更换灯管； （5）更换新的启辉器和新的灯管，也可将灯管旋转 180° 后再使用，如图 4-16 所示； （6）更换新灯管
镇流器过热	（1）气温太高，灯架内温度过高； （2）电源电压过高； （3）镇流器质量差，线圈内部匝间短路或接线不牢； （4）灯管闪烁时间过长； （5）新装日光灯接线有误； （6）镇流器与日光灯管不配套	（1）保持通风，改善日光灯环境温度； （2）查找电源电压过高的原因，并加以处理； （3）用螺丝刀旋紧接线端子，必要时更换新镇流器； （4）检查闪烁原因，接触不良时要进行加固处理，启辉器质量差要更换，灯管质量差引起闪烁，严重时也需更换灯管； （5）对照线路图检查接线有无错误，有误时予以改正； （6）更换与日光灯管配套的镇流器
灯管寿命太短或瞬间烧坏	（1）镇流器与日光灯管不配套； （2）镇流器质量差或镇流器自身有短路致使加到灯管上的电压过高(这种情况一般会造成日光灯通电时瞬间烧毁)； （3）电源电压太高； （4）开关次数太多或启辉器质量差引起长时间灯管闪烁； （5）灯管受到振动，致使灯丝振断或漏气； （6）新装日光灯接线有误	（1）换接一个与日光灯管配套的新镇流器； （2）更换新镇流器； （3）用万用表测电源电压，电压过高会影响日光灯管的寿命，找出电压过高的原因，加以处理； （4）尽可能减少开关灯的次数，或更换新的启辉器； （5）改善安装位置，避免强烈振动，然后再换新灯管； （6）对照接线图，更正线路接错之处

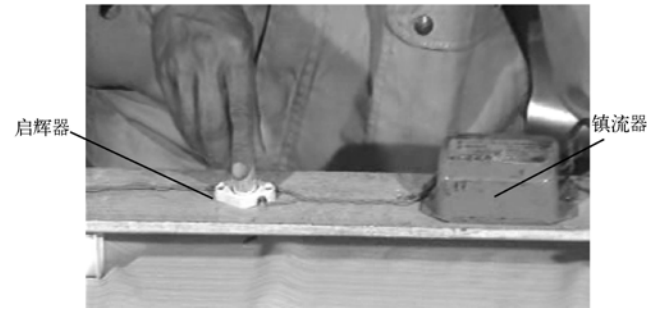


图 4-14　更换启辉器



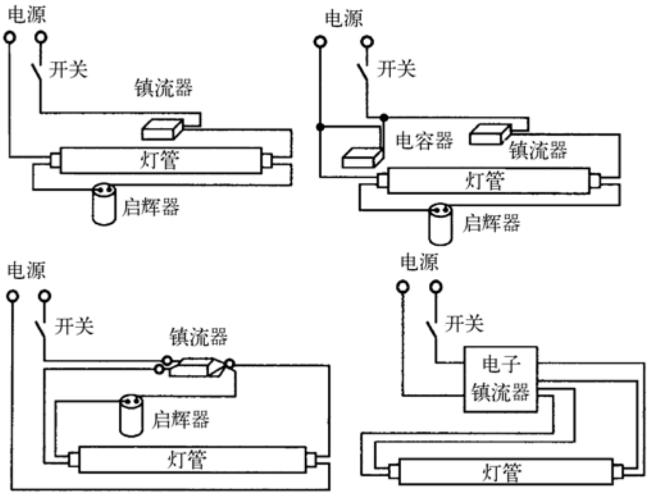
图 4-15　检查接线是否正确



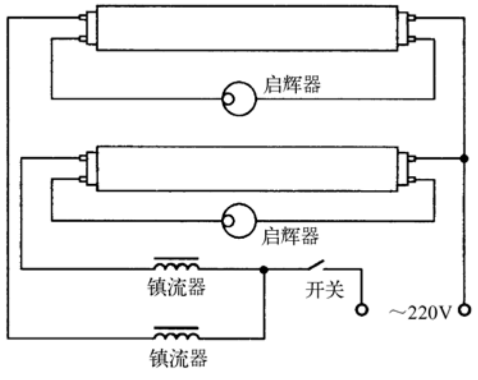
图 4-16　灯管旋转 180° 后再使用

中转站——日光灯基本控制电路

常见的日光灯电路有镇流器加启辉器式和电子镇流器式两种，日光灯的基本控制电路如图 4-17 所示。



（a）单管灯



（b）双管灯

图 4-17　日光灯基本控制电路

训练场 3——H 形节能灯故障诊断与检修

普通照明用自镇流荧光灯是由单端荧光灯管与电子镇流器共同组成的一种新型紧凑型电光源，俗称节能灯。现在市场上的节能灯大多是紧凑型的，插口与白炽灯构造相同。一般的节能灯是按灯管外形进行分类的，用英文字母象形化地命名，如 H 形、U 形、D 形、螺旋形等，不同的外形适应不同的装配需求，如图 4-18 所示。

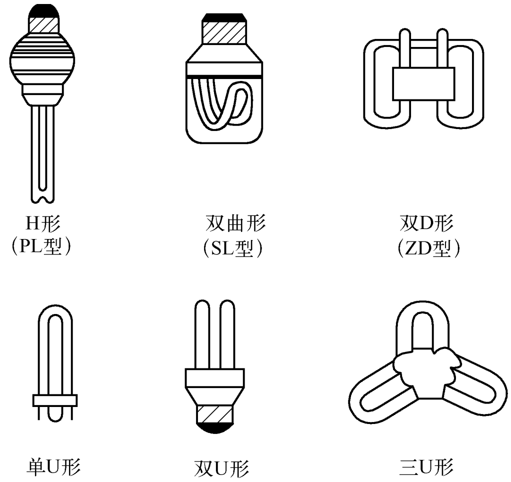


图 4-18　常见的节能灯

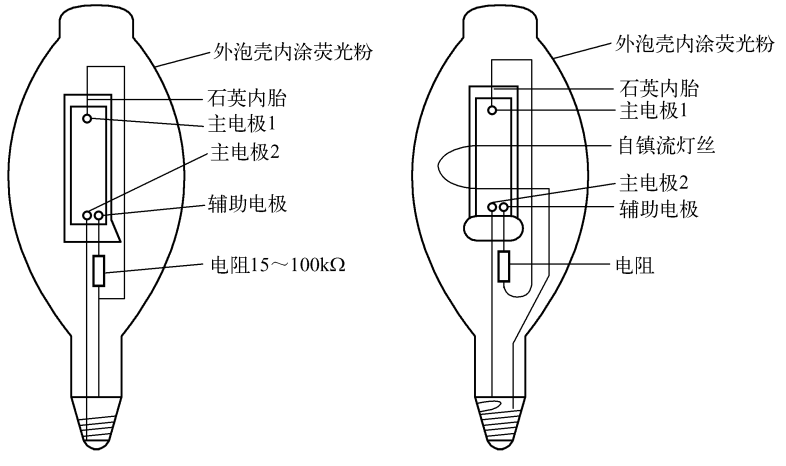
H 形节能灯常见故障及检修方法见表 4-4。

表 4-4　H 形节能灯常见故障及检修方法

故障现象	故障原因	检修方法
灯管不亮	（1）灯丝已断； （2）接线有断线	（1）用万用表检查灯丝，若已断应更换荧光灯灯管； （2）用铝壳或塑料壳将连接处轻轻撬开，再用电烙铁把灯脚焊锡烫开，取下塑料壳，将断线处重新焊接牢固
不能启动或只是尾部发红	一般是辉光启动器故障造成的	用手指轻轻弹击一下塑料壳部位，一般即可恢复正常工作；若如仍不能启动，可将铝壳与塑料壳的连接处轻轻撬开，用电烙铁把灯脚处的焊锡烫开，取下塑料壳，更换辉光启动器，然后再重新装好灯座即可
荧光灯启动困难	（1）灯管质量不好； （2）镇流器质量不好； （3）电源电压太低； （4）环境温度较低	（1）更换灯管； （2）更换镇流器； （3）调整电源电压； （4）采取相应的保温措施
灯光暗	（1）电源电压过低； （2）灯管老化	（1）提高电源电压； （2）当发现玻璃管靠近灯丝部位有黑斑时，说明灯管老化，应更换灯管

训练场 4——高压汞灯故障诊断与检修

高压汞灯是一种气体放电灯，主要由放电管、玻璃壳和灯头等组成。玻璃壳分为内、外两层，内层是一个石英玻璃放电管，管内有上电极、下电极和引燃极，并充有汞和氩气；外层是一个涂有荧光粉的玻璃壳，壳内充有少量氮气。高压汞灯的外形结构如图 4-19 所示。



（a）镇流式高压汞灯　　（b）自镇流式高压汞灯

图 4-19　高压汞灯

高压汞灯的常见故障及检修方法见表 4-5。

表 4-5　高压汞灯常见故障及检修方法

故障现象	故障原因	检修方法
开关合上后灯泡不亮	（1）电源进线无电压； （2）电路中有短路点； （3）电路中有断路处； （4）开关接触不良； （5）电源熔丝熔断； （6）灯泡灯丝已断； （7）灯泡与灯头内舌头接触不良或接不上； （8）灯头内接线脱落或烧断； （9）电源电压过低； （10）灯泡质量太差或由于机械振动内部损坏； （11）带镇流器的高压汞灯镇流器损坏或接线错误	（1）用试电笔测线路是否停电，若为供电线路的故障，应从线路查找。 （2）重点查找灯头与螺口处有无短路潮湿的痕迹，也可查找螺口灯头中铜舌头触点与外围螺口处有无短路点，查出短路点应更换灯泡或灯座。 （3）用试电笔对线路进行查找，重点查找电路易磨损处。 （4）打开开关，修复触点和动作机构，若损坏严重，要更换同型号开关。 （5）熔丝熔断的原因有：①线路中有漏电或短路现象，应按上述方法处理；②线路负荷大，熔丝容量较小，应更换与线路负荷一致的熔丝；③熔丝未与金属连接紧固，接触电阻增大，通电后产生热量，使熔丝缓慢熔断，这时应更换新熔丝并重新压紧，使熔丝与金属接触良好。 （6）用 500V 兆欧表对高压汞灯进行摇测，若电阻为无穷大，则说明该灯丝已断，要更换新灯泡。 （7）检查灯头与灯泡的弹簧触点是否正常，应使其与灯泡接触良好；若舌头断掉或无弹性，应更换灯头。 （8）检查灯头内部接线，重新将脱落线或烧断线接好，如图 4-20 所示。 （9）测电源电压，如果是额定电压 220V 的 80%～90%，可检查各线负荷是否超载，尽可能减轻负荷，使供电电压达到正常值。 （10）检查灯泡有无断丝、裂纹或机械损伤，若灯泡本身损坏应予以更换。 （11）如果是带镇流器的高压汞灯，应检查镇流器是否断路（用万用表可测出），断路时要更换。检查镇流器规格与灯泡是否一致，如果灯泡功率与镇流器规格不一致，要及时更换，如图 4-21 所示

续表

故障现象	故障原因	检修方法
灯泡发出强光或瞬间烧毁，灯光变为微暗蓝色	（1）电源电压过高； （2）附带镇流器的高压汞灯，镇流器匝间短路或整体短路； （3）灯泡漏气，外壳玻璃损伤，裂纹漏气	（1）用万用表测电源电压是否由相电压变为线电压；电力变压器是否负载过轻；补偿电容是否补偿过多；电力变压器的中性点是否有接触不良处，使三相电压的中性点偏移。查出原因后及时处理。 （2）如果是灯泡搭丝，最好更换新灯泡。 （3）更换新灯泡
灯泡点燃后忽亮忽灭	（1）电源电压忽高忽低、忽有忽无； （2）受附近大型电动机启动的影响； （3）熔丝、开关、灯头、灯座等接触处有接触不良或接触处氧化导致电阻增大； （4）灯在点燃后自行熄灭； （5）灯泡在电压正常、无断续供电下自行熄灭，又自行点燃	（1）用万用表测电源电压是否变化很大，是否网路上有接触不良处。 （2）一方面可另选其他线路供电进行解决，另一方面可将汞灯带的镇流器更换成稳压型镇流器。 （3）着重检查开关接线处、保险螺钉处、灯头灯座接触处及电线接头处，发现有接触不良、发热、氧化现象时，要重新进行接线处理，并压紧固定螺钉。 （4）对灯泡自带镇流器的应检查镇流器接线有无错误，有无接触不良。若灯亮后电压下降而灯又自行熄灭，一旦熄灭，隔数分钟后又不能自行点亮，这时要换稳压型镇流器。若开灯初期数分钟内因大电流引起电源熔丝熔断，应更换低启动电流型或稳压型镇流器。 （5）一般出现在自镇流高压汞灯上（属质量问题），严重时应更换

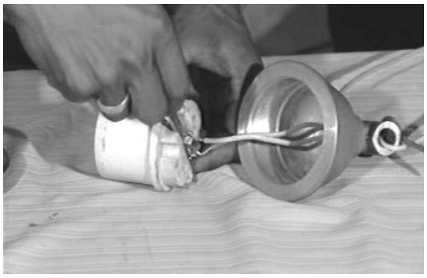


图 4-20　检查灯头接线

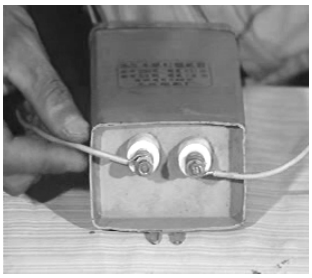


图 4-21　检查镇流器



训练场 5——碘钨灯故障诊断与检修

碘钨灯是卤素灯的一种，靠增加灯丝温度来提高发光效率，属于热体发光光源，其光源色温可达到 3 200K，相当于日出日落时的太阳光。碘钨灯具有光色好、辨色率高、结构简单、安装方便等优点，适用于照度大、悬挂高的车间、仓库、室外道路、桥梁和夜间施工工地。碘钨灯的接线如图 4-22 所示。

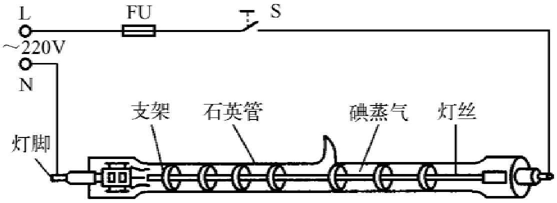
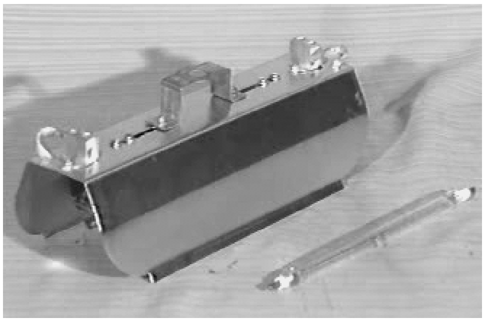


图 4-22　碘钨灯接线图

碘钨灯必须配用与灯管规格相适应的专用铝质灯罩，如图 4-23 所示。灯罩既可反射灯光，提高灯光利用率，又可散发灯管热量，使灯管保持最佳工作状态。由于灯罩温度较高，装于灯罩顶端的接线柱必须是瓷质的，如图 4-24 所示。电源引线应采用耐热性能较好的橡胶绝缘软线，且不可贴在灯罩铝壳上，而应悬空布线。灯罩与可燃性建筑物的净距离不应小于 1m。



（a）背面图



（b）正面图

图 4-23　灯罩

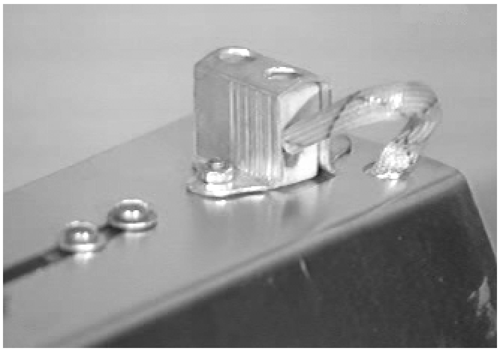


图 4-24　瓷质接线柱

碘钨灯的常见故障及检修方法见表 4-6。

表 4-6　碘钨灯常见故障及检修方法

故障现象	故障原因	检修方法
通电后灯管不亮	（1）电源线路有断路处； （2）熔丝熔断； （3）灯脚与导线接触不良； （4）开关有接触不良处； （5）灯管损坏； （6）因反复热胀冷缩使灯脚密封处松动，接触不良	（1）检查供电线路，恢复供电，如图 4-25 所示； （2）更换同规格熔丝； （3）重新接线； （4）检修或更换开关； （5）更换灯管； （6）更换灯管
灯管使用寿命短	（1）安装水平倾斜度过大； （2）电源电压波动较大； （3）灯管质量差； （4）灯管表面有油脂类物质	（1）调整水平倾斜度，使其在 4° 以下，如图 4-26 所示； （2）加装交流稳压器； （3）更换质量合格的灯管； （4）断电后，将灯管表面擦拭干净

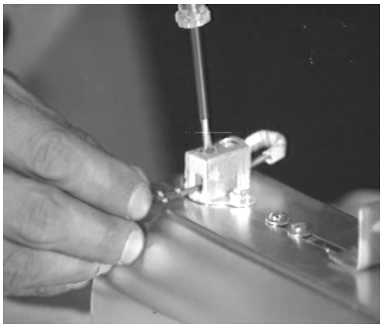


图 4-25　检查供电接线端

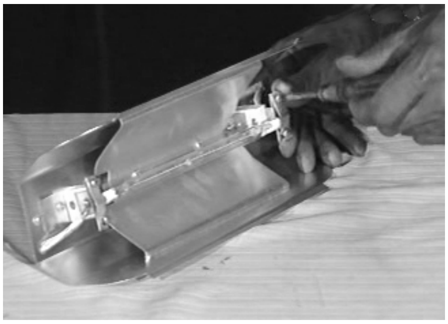


图 4-26　调整灯管水平倾斜度

4.1.4　开关、插头、插座故障的检修



训练场 1——开关常见故障的检修

开关常见故障有不能接通电路、接触不良、漏电、发热等，其检修方法见表 4-7。

表 4-7　开关常见故障及检修方法

故障现象	故障原因	检修方法
不能接通电路	（1）开关接线螺钉松脱，导线与开关导体不能接触； （2）开关内有杂物，使开关触片不能接触； （3）开关机械卡死，操作不灵活，拨拉不动	（1）打开开关盖，检查固定导线螺钉是否生锈、松脱，若有生锈、松脱，要清除锈物，用螺丝刀重新压紧导线，如图 4-27 所示； （2）打开开关，清除杂物，用砂纸在断电的情况下擦磨开关接触面，在装配时稍加一点高级润滑油； （3）打开开关，检查开关机械运转部分是否灵活，若不灵活，要加些润滑油，开关机械部分严重损坏时要更换同型号的开关或拉线开关
接触不良	（1）开关压线螺钉松脱； （2）开关接头外铜铝接合处形成氧化层； （3）开关的触点烧毛或有污物； （4）拉线开关触点磨损、打滑或烧毛	（1）打开开关盖，用绝缘柄良好的螺丝刀旋紧接线螺钉，如图 4-28 所示； （2）对较大容量的开关接线要更换成铜导线与开关连接，或将铝导线做搪锡处理后与导线连接； （3）将开关断电后，清除开关污物，并处理开关触点烧毛处，若开关损坏严重，应更换同型号的开关； （4）对损坏轻微的拉线开关，在断电后可使用尖嘴钳整形修复，如图 4-29 示，若开关磨损严重，要更换拉线开关
发热	（1）开关负载短路； （2）开关长期过载	（1）检查开关负载情况，处理短路点，并恢复供电； （2）对长期过载的开关，要检查是否负载过重，适当减轻负载。若工作需要不能减轻负载，要更换额定电流大一级的开关
漏电	（1）开关防护盖损坏或开关内部接线头外露； （2）开关受潮	（1）若开关的防护盖损坏，要重新配全开关盖，并接好开关的电源连接线； （2）开关受潮或受雨淋，要停电用无水乙醇清洗后做烘干处理，装配好后再使用。若拉线开关在户外，要改装成防雨型拉线开关或加装雨棚



图 4-27　检查松脱的导线



图 4-28　旋紧接线螺钉

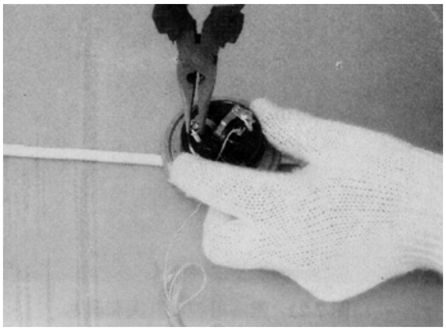


图 4-29　用尖嘴钳修复开关

训练场 2——插头、插座常见故障的检修

插头、插座的常见故障有不能通电或接触不良、短路、烧坏、漏电等，其检修方法见表 4-8。

表 4-8　插头、插座常见故障及检修方法

故障现象	故障原因	检修方法
插上插头后不能通电或接触不良	（1）插头压线螺钉松动，连接导线与插头片接触不好； （2）插头根部电源线在绝缘皮内部折断，造成时通时断； （3）插座口过松或插座触片位置偏移，使插头接触不上； （4）插座引线与插座压接导线螺钉松开，引起接触不良	（1）松开插头外壳螺钉，打开插头重新压接导线与插头的连接螺钉，如果是两线无螺钉组成的橡皮插头，应取出插头接触片将导线与插头连接好或压好，处理完后重新将插头两触片插入插头中再使用，如图 4-30 所示； （2）插头根部电源线在绝缘皮内折断后，引起通电后时通时断现象，要重新把插头端部电线剪断一截，将电线与插头触片连接后再使用； （3）断电后打开插座螺钉将插座盖去掉，用尖嘴钳将每组的两个铜片钳拢一些，使插头触片插入插座后能可靠接触； （4）打开插座，重新连接插座电源线，并旋紧螺钉
插座短路	（1）导线接头有毛刺，在插座内松脱引起短路； （2）插座的两插口相距过近，插头插入后碰连引起短路； （3）插头内接线螺钉脱落引起短路； （4）插头负载端短路，插头插入后引起弧光短路	（1）打开插座，检查导线在插座内是否松脱，接线时导线是否留有毛刺，断开插座电源，重新连接导线与插座，使螺钉压紧导线，在接线时要注意将接线毛刺清除，如图 4-31 所示； （2）更换插座，使新插头两相间保持一定的安全距离； （3）重新把紧固螺钉旋进螺母位置，固定紧； （4）检查插座负载端短路点，在消除负载短路故障后，断电更换同型号的插座

续表

故障现象	故障原因	检修方法
插座烧坏	（1）插座长期过载； （2）插座连接线处接触不良； （3）插座局部漏电引起轻微短路	（1）插座长期过载会引起插座烧坏，要减轻负载或在线路允许情况下更换额定电流较大的插头、插座； （2）检查插头、插座紧固螺钉，使导线与触片连接好并清除生锈物，然后用尖嘴钳把插座中每组的两个铜片向内靠拢些； （3）检查插座被油污、潮湿和导电粉尘污染处，若有放电痕迹，要更换同型号的插座，并采取防护措施
插头或插座漏电	（1）插头或插座受潮或被雨淋； （2）插头端部有导线裸露	（1）断开电源，清除污尘，烘干插头、插座，并采取防潮防雨措施； （2）重新连接插头触片与电线的接头，使导线不裸露

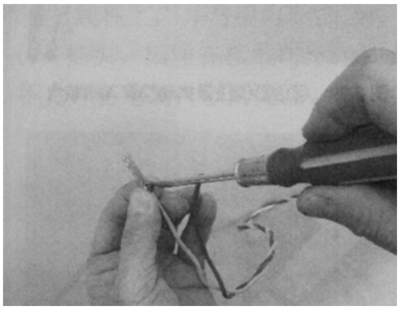


图 4-30　修理插头

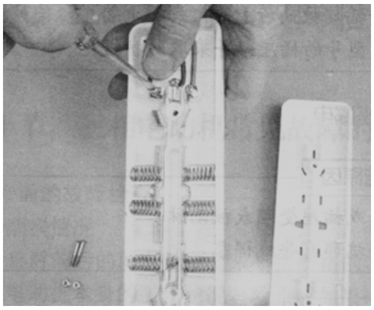


图 4-31　修理插座

4.2　架空线路的检修

线路检修工作必须坚持“应修必修，修必修好”的原则，将周期性检修和诊断检修结合起来，以不断提高检修工作质量。

4.2.1　砼杆基础检修

加油站——砼杆基础损坏的类型及修复措施

钢筋锈蚀只有在钢筋生锈、体积膨胀，将外部的混凝土胀裂之后才能发现，当发现出现裂纹后，应每年检查一次，以进行对比。可用带刻度的放大镜进行检查，能够直接读出裂纹的宽度。

砼杆基础损坏，按严重程度可以分为轻微损坏、一般损坏和严重损坏，见表 4-9。

表 4-9　砼杆基础损坏类型及修复措施

损坏类型	修复措施
轻微损坏	将损坏部位加以修补
一般损坏	将损坏部位除去，并更换新材料
严重损坏	将基础全部拆除，原杆位可用时，在原杆位重新做基础；原杆位不可用时，在异地重新建基础

中转站——主要设备及工具选用

1）基础破碎用主要设备及工具

（1）基础破碎用设备及工器具的额定功率不小于 1 700W，额定锤击率为 1 000 次，手持重量不大于 40kg，动力源可以是电动机、汽油机、柴油机、空气压缩机。

（2）基础切割用设备及工器具的额定功率不小于 3 000W，切割深度不小于 100mm，手持部分重量不大于 20 kg，动力源可以是电动机、汽油机、柴油机、空气压缩机、液压泵站等。

2）基础修复用主要设备及工器具

基础修复用主要设备是混凝土搅拌机，其进料容量不小于 240L，出料容量不小于 150L，转速不低于 15r/min，出料次数不小于 20 次/h。

3）动力源

动力源可选用输出功率大、重量轻、便于搬运的电动机、汽油机、柴油机、空气压缩机。

训练场 1——检查杆塔基础

1）检查基础的回填土

检查杆塔的护基是否沉塌或被冲刷，回填土有无下沉，发现缺土应及时进行处理。

2）检查基础是否水淹、冻胀、堆积杂物

（1）农民耕作时将多余的土或杂物堆积到基础保护区内，对被埋保护基础要及时进行清理，防止锈蚀。

（2）护基经过雨水冲刷或水淹可能会造成护基松动，对严重损坏的护基要及时进行处理。

3）检查基础混凝土是否裂纹、露筋

由于基础受冻胀或施工质量等原因，造成灌注式基础露筋及水泥脱落。对常年积水的基础及处于冻胀区的基础应及时开挖检查，并对灌注桩基础进行换土。

4）检查地脚螺栓是否松动、锈蚀

地脚螺栓起到固定的作用。发现地脚螺栓有松动或锈蚀，应及时更换。

指点迷津

在检查过程中，应随时注意周围环境，在确定安全的情况下才能进行检查，并随身携带应急药品。在夏季炎热季节作业时，应做好防暑措施，随身携带防暑用品，并应带上足够的饮用水；严寒天气应做好防冻措施。

训练场 2——基础轻微损坏的修复

1）开裂的修复

基础轻微开裂，可在裂缝处灌注高于原基础强度等级的环氧树脂砂浆，以消除裂缝。灌注前，将裂缝处清洗干净并先涂一层环氧树脂，再灌注环氧树脂砂浆。

2）表面缺损的修复

对于水泥脱落、钢筋外露等故障，可用大一号的模板在损伤部位用细石混凝土重新浇筑。

若钢筋发生锈蚀，则应先除锈并进行防腐处理。

训练场 3——地脚螺栓折断的修复

打碎折断的地脚螺栓周围的混凝土，将折断的地脚螺栓对接焊好或将折断的地脚螺栓取出并将完好的地脚螺栓放入，然后灌注与原基础强度等级相同的混凝土。

中转站——拉线的常见故障

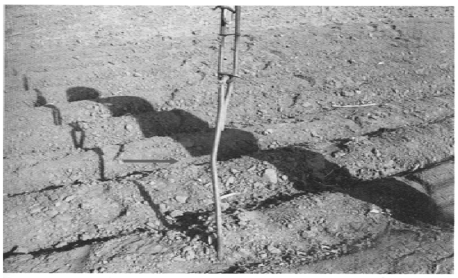
拉线的常见故障有拉线固定铁线丢失、拉线尾线被折断、拉线棒被撞弯曲、拉线螺栓紧固不到位、拉线地锚环生锈和拉线基础下沉，如图 4-32 所示。



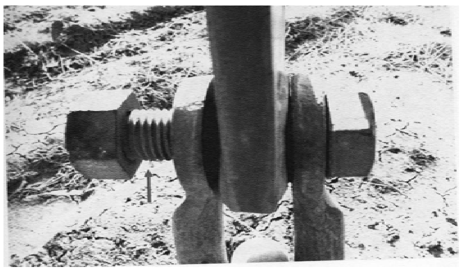
（a）拉线固定铁线丢失



（b）拉线尾线被折断



（c）拉线棒被撞弯曲



（d）拉线螺栓紧固不到位



（e）拉线地锚环生锈



（f）拉线基础下沉

图 4-32　拉线的常见故障

训练场 4——拉线及拉棒更换

1）安装好临时拉线

（1）作业人员上杆，挂好滑车和传递绳，地面人员布置好临时拉线锚桩。

（2）作业人员将临时拉线的上端固定在横担主材上并至少缠绕 2 圈，地面工作人员将临时拉线的下端用双钩与临时拉线锚桩相连接。

（3）地面人员用双钩收紧临时拉线使其受力后，做好防止双钩打转和打滑措施。

（4）地面人员先拆除拉线下端，接着杆上人员拆除拉线上端，然后用绳索吊落到地面。

（5）地面人员将旧拉棒挖出并更换好。

用钢丝绳打好临时拉线，用手拉葫芦调紧临时拉线，如果不影响线路安全也可不打临时拉线。

2）制作并安装新拉线

（1）将剪切的新钢绞线安装入两端线夹中，上把钢绞线回头长度为 0.3m，下把钢绞线回头长度为 0.3m。

（2）安装拉线抱箍、上把。

（3）登杆将拉线上把安装在拉线抱箍上。

（4）收紧新拉线。调节 UT 型线夹将拉线调紧，螺母露出丝扣长度一般以 30～50mm 为宜。调节拉线时注意不得使电杆发生弯曲，应同时调节杆上的所有拉线，使其受力均匀。

（5）绑扎新拉线。即将钢绞线尾线与主线绑在一起。

3）拆除旧拉线

一切完成后，拆除临时拉线及锚桩。杆上作业人员下杆，其他人员清理工作现场。

4.2.2　砼杆本体检修

加油站 1——砼杆的类型及用途

砼杆的类型及用途见表 4-10。

表 4-10　砼杆的类型及用途

类　　型	用　　途
直线杆	又称中间杆，用于线路直线中间部分。约占电杆总数的 80%
耐张杆	也称承力杆，一般指直线耐张杆，或小于 5° 的转角杆，是一种坚固、稳定的杆型
转角杆	用在线路的转角处，分为直线型和耐张型两类。通常根据转角的大小及导线截面的大小来确定
终端杆	终端杆为承受线路方向全部导线单侧拉力的耐张杆，它位于线路的首末两端，即发电厂或变电站出线或进线的第一基杆
分支杆	位于分支线路与主配电线路的连接处
跨越杆	位于通信线、电力线、河流、山谷、铁路等交叉跨越的地方

中转站——砼杆本体检修的对象

（1）砼杆钢圈连接处和杆面裂纹。

（2）砼杆所用铁构件和杆塔上外露铁构件连接及锈蚀。

加油站 2——砼杆本体主要缺陷及处理

砼杆本体主要缺陷及处理措施见表 4-11。

表 4-11　砼杆本体主要缺陷及处理措施

砼 杆 缺 陷	处 理 措 施
杆塔铁构件及所有外露铁件锈蚀、脱落、损坏	定期刷防锈漆
交叉构件、连接构件有空隙	装设垫圈或垫板
连接构件松动	紧固、涂铅油防松
杆面裂纹	用水泥浆或混凝土填缝

训练场——杆塔检查

1）杆塔整体状态检查

（1）焊接部分牢固、美观，符合《35kV 及以下架空电力线路施工及验收规范》的要求。

（2）转角（终端）杆向受力反方向倾斜（挂线后小于等于 3‰）。

（3）电杆弯曲符合设计要求（2‰）；根开（指相邻或对角两基础中心间的距离）符合设计要求（500kV 线路小于 3‰，110kV 线路小于 30‰）。

（4）杆塔整体结构倾斜符合要求（小于 3‰）。

2）杆塔表面裂纹检查

（1）电杆的杆面裂纹未达到 0.2mm 时，可以用水泥浆填缝。

（2）在靠近地面处出现裂纹时，要在地面上、下 1.5m 段内涂以沥青。

（3）水泥有松动或剥落者，应将酥松部分凿去，用清水冲洗干净，然后用高一级的混凝土补强。若钢筋有外露，应先彻底除锈，并用水泥砂浆涂 1～2mm 后，再行补强。

4.2.3　导线损伤的检查与修补

加油站 1——引起架空导线损伤的原因

导线是固定在杆塔上输送电流用的金属线（一般的架空输电线采用裸金属线，又称裸导线），由于导线常年在大气中运行，经常承受拉力，并受风、冰、雨、雪和温度变化的影响，以及空气中所含化学杂质的侵蚀，因此，架空线路的导线容易出现断股等损伤。

加油站 2——导线巡视检修的主要内容

（1）散股、断股、损伤、断线、放电烧伤、导线接头是否过热，悬挂漂浮物、弧垂过大或过小、严重锈蚀、阻尼线变形、烧伤。

（2）间隔棒松动、变形或离位。

（3）各种连板、连接环、调整板损伤、出现裂纹等。

（4）根据导线磨损、断股、破股、严重锈蚀、放电损伤、防震锤松动等情况，每次检修时，导线线夹必须及时打开检查。

（5）大跨越导线的振动测量 2～5 年一次，对一般线路应选择有代表性挡距进行现场振动测量，测量点应包括悬锤线夹、间隔棒线夹处，根据振动情况选点测量。

（6）导线舞动观测应在舞动发生时及时观测。

（7）导线弧垂、对地距离、交叉跨越距离测量在必要时进行，线路投运 1 年后测量 1 次，以后根据巡视结果决定。

（8）间隔棒（器）检查每次检修时进行，投运 1 年后紧固 1 次，以后进行抽查。

（9）根据巡视、测试结果更换导线及金具。

（10）根据巡视结果进行导线损伤修补。

（11）根据巡视、测量结果进行导线弧垂调整。

（12）根据检查、巡视结果进行间隔棒更换、检修。

加油站 3——导线断股损伤的处理方法

导线由于断股损伤，造成减小截面积的处理方法见表 4-12。

表 4-12　导线断股损伤造成减小截面积的处理方法

线　　别	处 理 方 法			
	金属单丝、预绞丝补修条补修	预绞丝护经条、普通补修管补修	加长型补修管、预绞丝接续条补修	接续管、预绞丝接续条、接续管补强接续管
钢芯铝绞线、钢芯铝合金绞线	导线在同一处损失未超过总拉断力的 5%且截面积损伤未超过总导电部分截面积的 7%	导线在同一处损伤导致强度损失在总拉断力的 5%～17%间，且截面积损伤在总导电部分截面积的 7%～25%	导线损伤范围导致强度损失在总拉断力的 17%～50%间，且截面积损伤在总导电部分截面积的 25%～60%间	导线损伤范围导致强度损失在总拉断力的 50%以上，且截面积损伤在总导电部分截面积的 60%及以上
铝绞线、铝合金绞线	断损伤截面积不超过总面积的 7%	断股损伤截面积占总面积的 7%～25%	断股损伤截面积占总面积的 25%～60%	断股损伤截面积超过总面积的 60%

指点迷津

1）采用缠绕处理时应符合下列规定

（1）将受伤处线股处理平整。

（2）缠绕材料应为铝单丝，缠绕应紧密，其中心应位于损伤最严重处，并应将受伤部

分全部覆盖。其长度不得小于 100mm。

2）采用补修预绞丝处理时应符合下列规定

（1）将受伤处线股处理平整。

（2）补修预绞丝长度不得小于 3 个节距，或符合现行国家标准《电力金具》有关预绞丝中的规定。

（3）补修预绞丝应与导线接触紧密，其中心应位于损伤最严重处，并应将损伤部位全部覆盖。

3）采用补修管补修时应符合以下规定

（1）将损伤处的线股先恢复原绞制状态。

（2）补修管的中心应位于损伤最严重处，需补修的范围应位于管内各 20mm。

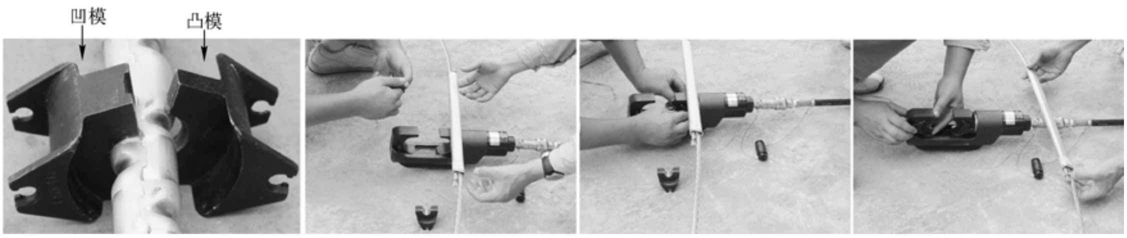
（3）补修管可采用液压或爆压，其操作必须符合有关规定。

训练场 1——导线连续损伤的重接

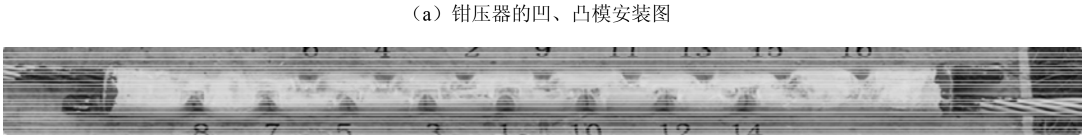
导线连续损伤虽在允许的补修范围内，但其损伤长度已超过一个补修金具能补修的长度时，应锯断重接。

对导线的连接主要是压接，它又分为钳压、液压和爆压。

钳压连接就是用钳压器把被连接的导线端头和钳压管一起压成一定间隔的凹槽（如图 4-33 所示），借助于管壁和线材的局部变形获得握着力，从而达到接续的目的。钳压适用于小线径导线。



（a）钳压器的凹、凸模安装图



1，2，3……操作顺序

（b）压接后的效果

图 4-33　钳压连接

液压连接主要用于大挡距、大导线的接续。一般在 $240mm^2$ 及以上的钢芯铝绞线、35～$70mm^2$ 钢绞线、$185mm^2$ 及以下的铝包钢绞线的直线接续、耐张线夹及跳线线夹的连接等，都应采用液压的方式进行连接，如图 4-34 所示。

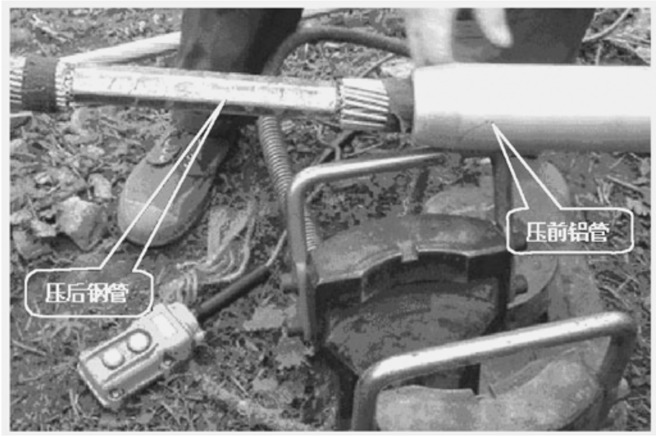
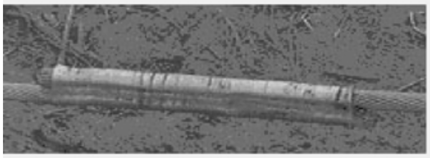
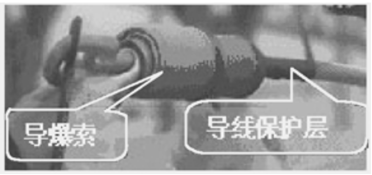


图 4-34　液压连接

爆压连接依靠敷设于压接管外壁的炸药，在爆炸瞬间释放的化学能，给压接管表面数万大气压强的压力，将压接管及穿在压接管内的导线线头强力压缩，产生塑性变形，如图 4-35 所示。爆压连接的操作工艺有割线、清洗、爆压管涂保护层、包药和裁药、画印、剥线和穿线、引爆、整理及检验等。



（a）采用爆炸压接的直导连接



（b）耐张线夹的爆炸压接

图 4-35　爆压连接



训练场 2——预绞丝修补导线

1）准备工作

（1）验电。

进行验电工作前，杆塔上电工将验电器与绝缘操作杆连接牢固，对验电器进行自检，听是否有验电器发出的报警声音，看是否有验电器发出的闪光报警。确定验电器工作状况良好后，戴好绝缘手套，手持绝缘操作杆后端，不得超过绝缘环，保证绝缘有效距离，35kV 为 0.9m、110kV 为 1.3m、220kV 为 2.1m，将验电器前端逐渐与导线接触。

同杆塔架设的多层多电压等级线路验电时，先验低压，后验高压；先验下层，后验上层，先验近侧，后验远侧。

（2）挂接接地线。

杆塔上电工戴好绝缘手套，用绝缘操作杆将接地线导线端挂接在导线上，并保证接触良好。挂接接地线时接地线不许触碰人体。多层多电压线路挂接地线时，先挂低压，后挂高压；先挂下层，后挂上层；先挂近侧，后挂远侧。依次采用以上方法挂接好所有接地线。

若杆塔为混凝土杆，在没有接地引线的情况下挂接地线时，接地线接地端应采用地线钎接

地，地面电工用大锤将接地钎砸入地下，深度不得低于 600mm，地线与接地钎须连接牢固。对于混凝土杆有接地线引线的杆塔，可用地线接地端与接地线连接的方式进行牢固接地。

2）预绞丝修补导线的操作

（1）解开安全带，在后备保险绳的保护下，作业人员根据作业点位置从塔身移动至横担上适当位置。

（2）拴好安全带，再移到后备保险绳，系在绝缘子串挂点处主材上，解开安全带沿绝缘子串下至导线，在绝缘子串上拴好安全带。

（3）用吊绳将作业架吊上后安装在导线上，做好防止作业架滑跑的安全措施，收好吊绳后解开安全带，进入作业架，将安全带拴在导线上，塔上监护人解开后备保险绳，作业人员收好后备保险绳。

（4）作业人员滑动作业架至导线损伤点，将受伤处线股处理平整；用钢卷尺量出预绞丝安装位置，用记号笔在损伤处两侧画印。

（5）用吊绳吊上预绞丝，对准画印处逐根安装预绞丝，如图 4-36 所示。注意，预绞丝端头应对齐，不得有缝隙，预绞丝不得变形；补修预绞丝中心，应位于损伤最严重处，预绞丝位置应将损伤处全部覆盖。



图 4-36　预绞丝修补导线

（6）滑动作业架，回到绝缘子串侧，从作业架上至导线上，将安全带拴在绝缘子串上，栓好后备保险绳，取作业架并用吊绳将其放下，解开安全带，沿绝缘子串上至横担上。

3）拆除接地线

预绞丝修补完毕后，方可拆除接地线。多层多电压线路拆除接地线时，先拆高压，后拆低压；先拆上层，后拆下层；先拆远侧，后拆近侧。

拆除地线后的设备应视为带电体，要保持足够的安全距离。

4.2.4　金具和绝缘子串的检修

加油站 1——金具检修规范

金具在架空电力线路及配电装置中，主要用于支持、固定和接续裸导体、导体及绝缘子连

接成串，也用于保护导线和绝缘体。由于杆塔金具在气候复杂、污秽程度不一的环境条件下运行，其耐磨性和腐蚀性及污垢必然影响其正常运行，因此，需要定期对金具进行检查和清扫，对出现问题的金具要做到及时发现、及时处理，如图 4-37 所示。




图 4-37　金具检修

对于停电登杆检修的输配电线路金具，一般应与清扫绝缘子同时进行，对一般线路每两年至少进行一次，对重要线路每年至少进行一次，对污秽线路段按其污秽程度及性质可适当增加停电登杆检查清扫的次数。

加油站 2——金具及绝缘子检修内容

（1）检查导线、避雷线悬挂点各部螺栓是否松扣或脱落。

（2）绝缘子串开口销子、弹簧销子是否齐全完好。

（3）绝缘子有无闪络、裂纹或硬伤等痕迹。

（4）防振锤有无歪斜、移位或磨损导线。

（5）防线条的卡箍有无松动或磨损导线。

（6）检查绝缘子串的连接金具有无锈蚀，是否完好。

中转站——绝缘子损坏的原因

（1）人为破坏，如被击伤、击碎等。

（2）安装不符合规定，或承受的应力超过了允许值。

（3）由于气候骤冷骤热，电瓷内部产生应力，或者被冰雹等击伤、击碎。

（4）因脏污而发生污闪事故，或者在雨雪或雷雨天出现表面放电现象（闪络）而损坏。

（5）在过电压下运行时，由于绝缘强度和机械强度不够，或者绝缘子本身质量欠佳而损坏。

训练场 1——杆塔金具的检修

（1）检查铁横担有无锈蚀、变形，如图 4-38 所示。有锈蚀、变形的铁横担应及时更换。



图 4-38　检查铁横担

（2）检查金具有无锈蚀、变形、烧伤、裂纹，连接处转动应灵活；螺栓是否紧固，是否缺帽；开口销有无锈蚀、断裂、脱离。

（3）检查防振锤、阻尼线、间隔棒等金具不应发生位移、变形、疲劳。

（4）检查屏蔽环、均压环不应出现松动、变形，均压环不得反装。

（5）检查 OPGW 余缆固定金具不应脱落，接线金具不应松动、漏水。

（6）检查 OPGW 预绞丝线夹不应出现疲劳或断脱。

（7）检查接线金具不应出现外观鼓包、裂纹、烧伤、滑移或出口处断股。

训练场 2——绝缘子的检查与更换

1）绝缘子表面的检查方法

（1）检查绝缘子与瓷横担脏污，瓷质裂纹、破碎，钢化玻璃绝缘子爆裂、绝缘子铁帽及钢角锈蚀，钢角弯曲等。

（2）检查合成绝缘子伞裙破裂、烧伤，金具、均压环变形、扭曲、锈蚀等异常情况。

（3）检查绝缘子与瓷横担有无闪络痕迹和局部火花放电留下的痕迹。

（4）检查绝缘子串、瓷横担有无严重偏斜。

（5）对于绝缘子横担绑线松动、断股、烧伤等情况，也应注意观察。

（6）对绝缘子槽口、钢脚、锁紧销不配合，锁紧销子退出等情况进行检查。

2）绝缘子的更换与安装

（1）杆塔上电工用滑车组、双钩紧线器或其他起吊工具吊起导线，转移绝缘子串上的机械荷载。

（2）杆塔上电工摘下待更换绝缘子，并用传递绳拴好与地面电工配合传送到杆塔下。地面电工用传递绳将良好绝缘子拴牢送到杆塔上。

（3）杆塔上电工迅速将良好绝缘子复位，装好弹簧销子，旋转绝缘子的钢帽大口方向与原绝缘子串一致，松紧线器至绝缘子串为受力状态。

（4）对耐张绝缘子串，用滑车组、双钩紧线器或其他紧线工具将导线收紧固定在横担上，将不受力的耐张串摘下，放至地面，然后将要更换的绝缘子串吊起，用绑架托瓶或由工作人员直接换上。

指点迷津

更换后的绝缘子，其碗口、插销、弹簧销、开口销等穿插方向应与原方向一致，开口销必须掰开。

4.3　高压电器的检修

4.3.1　高压断路器的检修

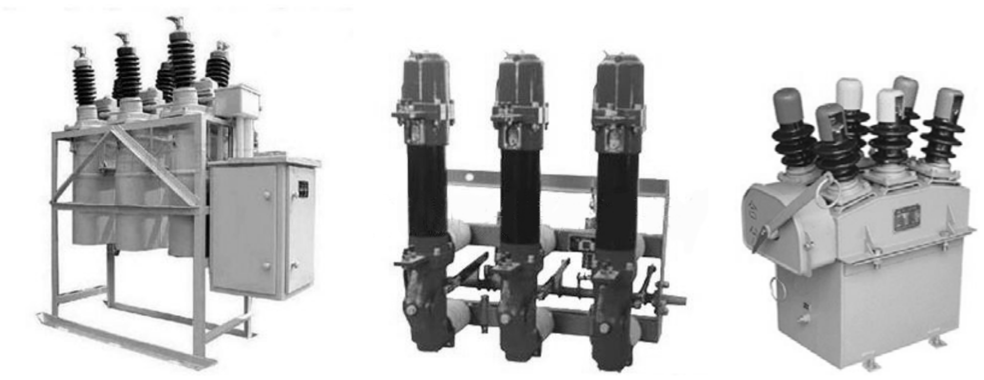
加油站——高压断路器的用途及种类

高压断路器是电力系统中最重要的电器，具有控制和保护的双重作用。即根据电力系统的需要，将部分或全部电力设备或电路投入或退出运行（控制作用）；电力系统有故障时，能迅速切除故障部分，有时还要求完成重合闸动作，将故障损失限制在最小范围（保护作用）。

高压断路器按灭弧介质可分为油断路器、真空断路器、SF_6（六氟化硫）断路器、自产气断路器和磁吹断路器等。

1）油断路器

油断路器是采用绝缘油液为散热灭弧介质的高压断路器，又分为多油断路器和少油断路器。户内一般使用少油断路器和柱（杆）上油断路器，如图 4-39 所示。



（a）多油断路器　　（b）少油断路器　　（c）柱上油断路器

图 4-39　油断路器

2）真空断路器

真空断路器是将接通、分断的过程采用大型真空开关管来控制完成的高压断路器，适合于对频繁通断的大容量高压电路的控制。常用真空断路器额定电压等级有 12kV、40.5kV；额定电流规格有 630A、1 000A、1 250A、1 600A、2 000A、2 500A、3 150A、4 000A 等。

真空断路器根据安装场合不同，分为户内真空断路器和户外真空断路器两类，如图 4-40 所示。户内真空断路器又分为固定式与手车式；根据操作方式不同分为电动弹簧储能操作式、直流电磁操作式、永磁操作式等。

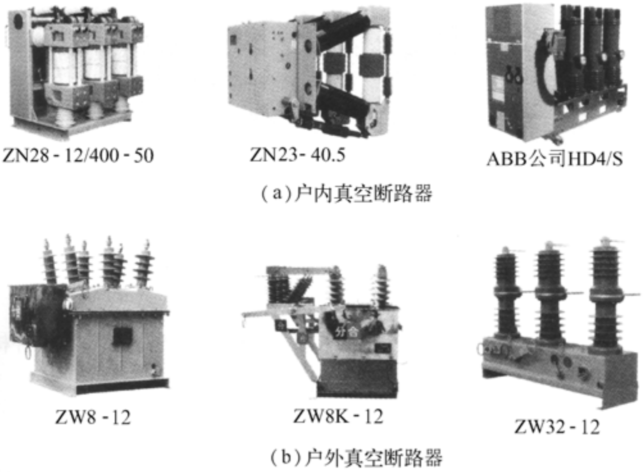


图 4-40 真空断路器

真空断路器是目前应用最多的高压断路器，广泛用于农村高压电网、大型冶炼电弧炉、大功率高压电动机等的控制操作。

3）六氟化硫断路器

六氟化硫断路器在用途上与油断路器、真空断路器相同。它的特点是分断、接通的过程在无色无味的六氟化硫（SF_6，惰性气体）中完成。在相同电容量的情况下，由六氟化硫为灭弧介质构成的断路器占地最少，结构最紧凑。

六氟化硫断路器的基本组件如图 4-41 所示，开关的旋转触头被封闭在其中，由侧面的操作机构进行通、断控制。

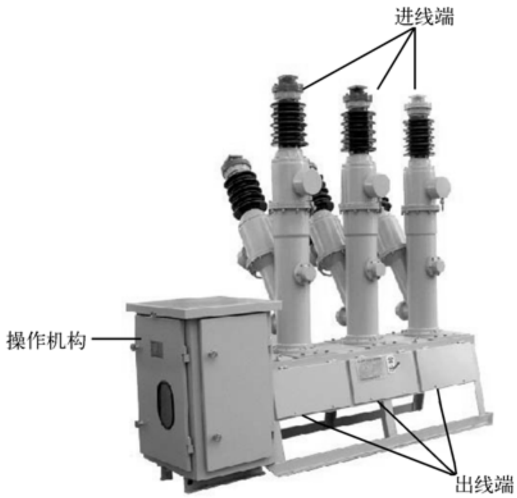


图 4-41　六氟化硫断路器的基本组件

训练场 1——高压断路器的维护

1）清洁维护

高压油断路器的进、出线套管应定期清扫，保持清洁，以免漏电。

2）油箱及绝缘油检查

（1）经常检查油箱有无渗漏现象，有无变形；连接导线有无放电现象和异常过热现象。

（2）绝缘油必须保持干净，要经常注意表面的油色。若发现油色发黑，或出线胶质状，应更换新油。

（3）目测油位是否正常，当环境温度为 20℃时，应保持在油位计的 1/2 处。

（4）定期做油样试验，每年做耐压试验一次和简化试验一次。

（5）在运行正常的情况下，一般 3～4 年更换一次新油。

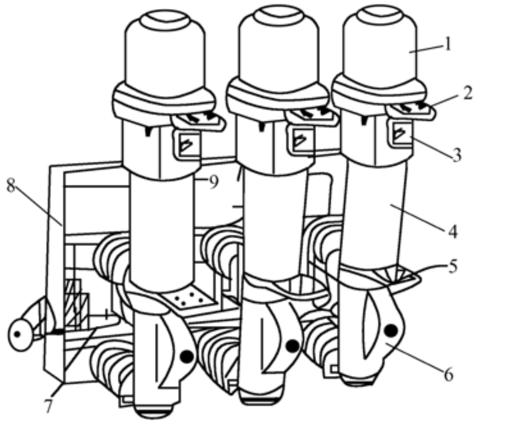
（6）油断路器经过若干次（一般为 4～5 次）满容量跳闸后，必须进行解体维护。

3）指示灯泡检查

检查通断位置的指示灯泡是否良好，若发现红绿灯指示不良，应立即更换或维修。

训练场 2——SN10-10 型少油断路器的检修

SN10-10 型少油断路器的结构如图 4-42 所示。



1—上帽；2—上出线座；3—油标；4—绝缘筒；5—下出线座；
6—基座；7—主轴；8—框架；9—断路弹簧

图 4-42　SN10-10 型少油断路器的结构

1）本体的拆卸

拆下引线，拧开放油阀，排放油，拆除传动轴拐臂与绝缘连杆的连接，然后按照下列顺序逐步解体。

（1）拧开顶部的 4 个螺钉，卸下断路器的顶罩，此时可以观察上帽内的惯性膨胀式油气分离器的结构。

（2）取下静触头和绝缘套。松开静触头的六角螺帽，取出小钢球，可以观察瓣形静触头是否正常（共 12 片紫铜镀银触指，其中 4 片较长的为弧触指，其余 8 片为工作触指）。

（3）用专用工具拧开螺纹套，逐次取出绝缘隔弧片。注意观察隔弧片的方向性（取出后在外重新装好），注意观察变压器油的进油方向及纵吹、横吹通道。

（4）用套筒扳手拧开绝缘筒内的 4 个螺钉，取下铝压环、绝缘筒和下出线座（如果断路器下部无异常现象，可不拆卸绝缘筒，用变压器油冲洗即可），注意密封圈的设置。

（5）取出滚动触头，拉起导电杆，拔去导电杆尾部与连板连接的销子，即可取下导电杆。

观察动触头、导电杆、紫铜滚动触头的相对位置，手动操作，观察导电杆运动的情况。

（6）拧下底部的 3 个螺钉，拆卸油缓冲器。

2）本体的检修

1）将取出的隔弧片和大小绝缘筒用合格的变压器油清洗干净后，检查有无烧伤、断裂、变形、变潮等情况。对受潮的部件应进行干燥（放在 80～90℃的烘箱或变压器油内干燥），在干燥过程中应立放，并经常调换在烘箱内的位置。

（2）将静触头上的触指和弹簧钢片拔出，放在汽油中清洗干净，检查触指烧伤情况，轻者用“0-0”号砂纸打光，重者应更换。检查弹簧钢片，有变形或断裂的应更换。在触指组装时，应保证每片触指接触良好，导电杆插入后有一定的接触压力。

（3）检查逆止阀钢球动作是否灵活，行程应为 0.5～1mm（用游标卡尺的测深尺测量）。

（4）检查滚动触头表面镀银情况是否良好，用布擦拭，切忌用砂纸打磨。

（5）检查导电杆表面是否光滑，有无烧伤、变形等情况，要求从动触头顶端起 60～100mm 处保持光洁，不能有任何痕迹。导电杆的铜钨头若有轻度烧伤，可用挫刀或砂纸打光，对烧伤严重（烧伤深度达 2mm）的应更换，更换后的触头接合处打三个防松的冲眼（不能用铁钳直接夹持导电杆）。

（6）检查本体的支持瓷套管和支架的套管瓷瓶有无裂纹、破损，若有轻微掉块可用环氧树脂修补，严重时应更换。

3）传动机构的检修

（1）拆开传动机构与操作机构的连接部分，即拆开传动拉杆与拐臂的连接销子，然后用手拉动拐臂，详细检查传动机构的所有连接处，并注意以下几个部分的检修。

① 检查各主轴有无磨损现象和变形，轴承孔眼有无堵塞物。若发现主轴有轻微磨损现象，可用锉刀或砂布打磨光滑，严重的应更换。

② 检查各传动部件有无卡涩现象，主轴在轴承内能否自由转动。若发现主轴有卡涩现象，可移动支持瓷瓶位置或增减支持瓷瓶与油箱之间的垫片，改变油箱在支架上的安装位置和垂直高度，以消除卡涩现象。注意在移动油箱位置时，必须保持各相油箱间的中心距离为 250 ± 2mm。也可在上帽螺钉和放油塞处测量相同距离。

③ 传动机构的运动部分（包括轴、销子、垫片等）应涂以润滑油，各部分轴销应连接牢固，开口销、垫片应齐全完整。

（2）仔细检查分闸弹簧有无缺陷，各匝间距离是否均匀。一般检查不取下弹簧，也不随便松动它，只有当分闸速度不合格时才进行调整，若调整无效，则说明弹簧已损坏，应更换。

（3）检查分闸油缓冲器的完整性。用手操动触杆，若有卡涩现象，可拆下油箱尾部的 3 个螺钉，将油缓冲器取下，检查缓冲器杆是否弯曲。检查合闸弹簧缓冲器下面的螺母，取下弹簧及螺杆，检查弹性是否良好，有无生锈现象，并将其清洗后涂上黄油，保持润滑。

（4）检查传动拐臂转动油封处是否渗油，各种密封垫圈是否齐全完好。

4）断路器本体的组装

组装前将油箱用合格的变压器油冲洗干净，检查油位指示器、传动拐臂的转动油封、放油阀等处的密封情况，更换各处的密封圈，然后按与拆卸相反的顺序组装。组装时应注意以下几点：

（1）隔弧片的组合顺序和方向应正确，灭弧室内横吹口要畅通，横吹口的方向为引出线的反方向。

（2）装静触头之前检查静触头架上是否有密封，触头座内是否有逆止阀。

（3）装顶罩时，B 相顶罩排气孔的方向与引出线的方向相反，A、C 两相的顶罩排气孔与 B 相的相差 45°。

本体组装完毕后，将传动拉杆与拐臂连接，手动操作几次，检查连接是否正确。

5）组装后的调整

（1）调整灭弧片上端面至上引线座上端面的距离。要求 SN10-10 Ⅱ型为 135 ± 0.5mm，SN10-10 Ⅲ型为 153 ± 0.5mm，若不合要求，可通过调整灭弧片之间的垫片来达到。

（2）调整动触头合闸位置的高度。动触头上端面至上引线座上端面的距离要求 SN10-10 Ⅰ型为 130 ± 1.5mm，SN10-10 Ⅱ型为 110 ± 1.5mm，SN10-10 Ⅲ型为 122 ± (1～2)mm，这样才能满足超行程的要求。可通过调节主轴至机构室绝缘连杆的长短来达到，也可调主轴到操动机构的传动杆的长短。即连杆调短就使上述尺寸减小，超行程增大；而连杆调长则使上述尺寸增大，超行程减小。

（3）调整导电杆的行程。要求总行程 SN10-10 Ⅰ型为 145 ± 3mm，SN10-10 Ⅱ型为 155 ± 3mm，SN10-10 Ⅲ型为 157 ± 3mm。不合格时可通过调节传动拉杆或连杆的长短来达到，也可通过增减分闸限位器的铁片和橡皮垫圈数来达到，调后不影响超行程。

（4）调同期性。三相分闸不同期性要求不大于 2mm，不合格时可通过改变各相绝缘连杆的长短来达到。调连杆时，应注意不能影响动触头端面至上引线座上端面的距离。调同期可与调行程同时进行。

（5）调整合闸弹簧缓冲器。在断路器处于合闸位置时，拐臂的终端滚子打在缓冲器上距极限位置应留有 2～4mm 的间隙。

（6）调整动静触头的同心度。将静触头座安装在油箱上部的凸台上，暂不拧紧螺栓，手动合闸几次，用动触头向上插入静触头的力，使静触头稍作移动，达到自动调节同心的目的。

6）操作检验

在直流 80%（或交流 85%）额定合闸电压下合闸 5 次，在 120%额定分闸电压下分闸 5 次，在 110%额定合闸电压下合闸 5 次，在 65%额定分闸电压下分闸 5 次；能手动合闸断路器，应用手力分、合 3 次。



训练场 3——真空断路器的检修

1）真空断路器运行中的检查（限于不打开柜门即可进行的检查）

（1）套管瓷瓶有无破损、裂纹及放电现象。

（2）各部位应接触良好，不变色。

（3）操作机构及隔板应完好。

（4）各接头无松动及异常声音。

（5）位置指示器指示位置应正确。

2）真空断路器常见故障及处理方法（见表 4-13）

表 4-13　真空断路器常见故障及处理方法

故 障 现 象	可 能 原 因	处 理 方 法
真空开关不能合闸	合闸电磁铁绞圈回路断线或铁芯损坏	检查合闸电磁铁线圈回路，消除断路部分或更换电磁铁铁芯
	真空开关合闸机械部位卡涩	检查真空开关合闸机械部分，找出故障点，调整或更换相关机械部件，保证真空开关传动系统动作正常
	开关后侧挡板的插头接触不好	打开后挡板，检查插头的接触情况，针对处理
真空开关不能分闸	分闸电磁铁线圈回路断线或铁芯损坏	检查分闸电磁铁线圈回路，消除断路部分或更换电磁铁铁芯
	真空开关分闸机械部位卡涩	检查真空开关分闸机械部分，找出故障点，调整或更换相关机械部件，保证真空开关传动系统动作正常
真空开关误分闸	真空开关分闸掣子闭锁不牢靠	检查、调整真空开关分闸掣子
	操作直流电源回路多点接地或控制系统中存在寄生回路	查找直流系统接地点，消除控制系统中的寄生回路
	继电保护装置误动作	校验继电保护装置
真空开关不能储能	储能电动机故障	检查更换储能电动机
	减速箱蜗轮、传动凸轮、棘爪故障，不能完成动力传递	检查、更换减速箱蜗轮、传动凸轮、棘爪
	储能弹簧损坏	更换储能弹簧
真空开关在进行交流耐压试验时出现放电击穿现象	真空开关真空泡内真空度降低	对真空开关真空泡进行真空度测试，当发现真空泡内真空度低于标准值时，应进行更换
真空开关主触头导电回路接触电阻超标	动、静触头在长时间动行后或在经历多次开断短路故障电流时损坏	更换真空泡
真空开关隔离触头过热	真空开关动、静隔离触头表面氧化	对真空开关动、静隔离触头表面氧化膜进行处理，并涂新电力复合脂
	真空开关在运行中存在过负荷现象	检查电动机负荷情况，校验保护装置定值，杜绝真空开关在过负荷情况长时间运行
	隔离触头弹簧过松	更换弹簧
部分二次插头有裂纹	产品质量问题 （普遍存在）	更换二次插头
“试验”、“工作”位置指示灯同时亮	位置板（S9）卡涩	调整位置板使之灵活并涂润滑脂

4.3.2　高压熔断器的检修

加油站 1——高压熔断器的用途及种类

在保护性能要求不高，35kV 及以下的小容量配电网络中，高压熔断器广泛用作过载和短

路保护。

高压熔断器按装设地点不同，分为户内式和户外式；按熔管的动作情况不同，分为固定式和跌落式；按断流特性不同，分为限流式和非限流式。

中转站——10kV 高压熔断器的停电检查

（1）静、动触头按触是否吻合，是否紧密完好，有无烧伤痕迹。

（2）熔断器转动部位是否灵活，有无锈蚀、转动不灵等异常情况。零部件是否损坏，弹簧是否锈蚀。

（3）熔体本身是否受到损伤，经长期通电后有无发热伸长过多变得松弛无力。

（4）熔管经多次动作后，管内产气用的消弧管是否烧伤，是否损伤变形。

（5）清洁绝缘子并检查有无损伤、裂纹或放电痕迹，拆开上、下引线后，用 2 500V 摇表测试绝缘电阻应大于 300MΩ。

（6）检查熔断器上、下连接引线有无松动、放电、过热现象。

加油站 2——跌落式熔断器常见故障

跌落式熔断器常见故障及原因见表 4-14。

表 4-14　跌落式熔断器常见故障及原因

故 障 现 象	故 障 原 因
烧保险管	跌落式熔断器烧管故障都是在熔丝熔断后发生的，由于熔丝熔断后不能自动跌落，这时电弧在管子内未被及时切断而形成连续电弧将管子烧坏。 （1）上、下转动轴安装不正，被杂物阻塞； （2）转轴部分较粗糙，导致阻力过大，不灵活
保险管误跌落	（1）保险管尺寸与保险器固定接触部分尺寸匹配不合适，极易松动，一旦遇到大风就会被吹落； （2）合闸操作后未进行检查，稍一振动便自行跌落； （3）熔断器上部触头的弹簧压力过小，且在鸭嘴（保险器上盖）内的直角突起处被烧伤或磨损，不能挡住管子； （4）熔断器安装的角度（即保险器轴线与垂直线之间的夹角）不合适； （5）熔丝附件太粗，保险管孔太细，即使熔丝熔断，熔丝元件也不易从管中脱出，使管子不能迅速跌落
熔丝误断	（1）熔丝额定容量过小，或与下一级熔丝容量配合不当，发生越级误断熔断丝； （2）熔丝质量不良，其焊接处受到温度及机械力的作用后脱开； （3）熔丝氧化生锈，最易发生误熔断

训练场——跌落式熔断器更换熔丝

跌落式熔断器使用专门的铜熔丝，在发生短路熔断后可更换。更换时，选用的熔丝应与原来的规格一致，如图 4-43 所示。



图 4-43　更换熔丝操作

4.3.3　高压隔离开关的检修



加油站——高压隔离开关的功能

1）隔离电压

在检修电气设备时，用隔离开关将被检修的设备与电源电压隔离，并形成明显可见的断开间隙，以确保检修的安全。

2）倒闸

投入备用母线或旁路母线及改变运行方式时，常用隔离开关配合断路器，协同操作来完成。例如，在双母线电路中，可用高压隔离开关将运行中的电路从一条母线切换到另一条母线上。

3）分、合小电流

因隔离开关具有一定的分、合小电感电流和电容电流的能力，故一般可用来进行以下操作：

（1）分、合避雷器、电压互感器和空载母线；

（2）分、合励磁电流不超过 2A 的空载变压器；

（3）关合电流不超过 5A 的空载线路。

4）其他

在高压成套配电装置中，高压隔离开关常用作电压互感器、避雷器、配电所用变压器及计量柜的高压控制电器。

中转站——高压隔离开关的日常检查

（1）运行时，随时巡视检查把手位置、辅助开关位置是否正确，如图 4-44 所示。

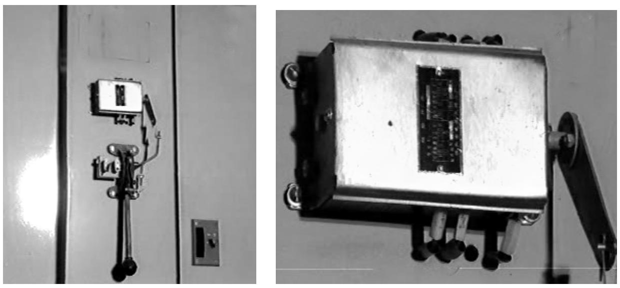
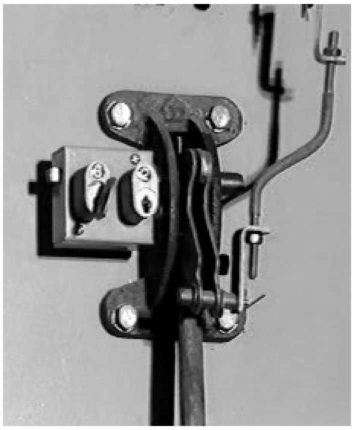


图 4-44　高压隔离开关的把手位置和辅助开关位置

（2）检查闭锁及联锁装置是否良好，接触部分是否可靠，如图 4-45 所示。



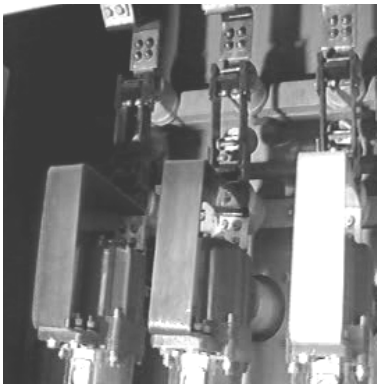
（a）闭锁及联锁装置



（b）接触部分

图 4-45　检查闭锁、联锁装置和接触部分

（3）检查刀片和触头是否清洁；检查瓷瓶是否完好、清洁，操作时是否可靠、灵活，如图 4-46 所示。



（a）刀片和触头



（b）瓷瓶

图 4-46　刀片、触头和瓷瓶的检查

训练场 1——隔离开关的检修

1）绝缘子的检查

（1）固定绝缘子表面应光洁发亮，无放电痕迹、裂纹、斑点及松动现象；基座无变形、腐蚀及损伤等情况。

（2）活动绝缘子与操动机构部分的紧固螺钉、连接销子及垫圈应齐全、紧固。

2）接触面的检修

（1）清除接触面的氧化层。

（2）检查固定触头夹片与活动刀片的接触压力。用 0.06×10mm 的塞尺检查，其塞入深度不应大于 6mm。当接触不紧时，对于户内型隔离开关可以调节两侧弹簧的压力；对于户外型隔离开关则要将弹簧片与触头结合的钉铆死。

（3）在合闸位置，刀片应距静触头刀口的后底部 3～5mm，以免刀片冲击绝缘子。若间隙不够，可以调节拉杆长度或调节拉杆绝缘子的调节螺钉的长度。

（4）检查两接触面的中心线是否在同一直线上，若有偏差，可通过略微改变静触头或瓷柱的位置来进行调整。

（5）三相联动的隔离开关，不同期差不能超过规定值。否则，应调节传动拉杆的长度或调节拉杆绝缘子的调节螺钉的长度。

3）手动操动机构的检修

（1）清除操动机构上的积灰和脏污，检查各部分的螺钉、垫圈、销子是否齐全和紧固；各传动部分应涂适量的润滑油。

（2）蜗轮式操动机构组装后，应检查蜗轮与蜗杆的配合情况，不能有磨损、卡涩现象。

4）电动操作机构的检修

（1）检查电动机应完好无缺陷，转向正确，必要时给电动机加润滑脂。

（2）检查控制回路的接线，二次元件有无损坏，接触是否良好，分、合闸指示是否正确。

（3）检查辅助开关，清除辅助开关上的灰尘和油泥；检查并调整其小臂、传动、小弹簧及接触片的压力，活动关节处加润滑油，以使其动作正确，接触良好。

以上检查完毕，当确认机构部件一切正常后，在转动摩擦部分涂抹润滑油，先手动操作 3～5 次，然后接通电源，试用电动操作。

中转站——隔离开关导电回路发热故障的预防

隔离开关的导电回路主要由出线座、导电杆、触头、触指等组成，如图 4-47 所示。

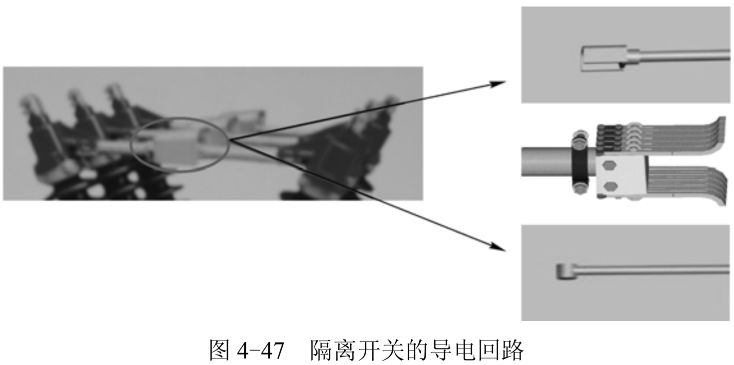


图 4-47　隔离开关的导电回路

1）过热缺陷的早期诊断

隔离开关过热缺陷在运行的早期都不明显，但在高气温、大负荷的恶劣条件下会很快发展成为危及电网安全运行的危险缺陷，因此做好早期诊断工作十分重要。

运行人员应在平时加强巡视，观察各导电部位变色漆的颜色变化或试温蜡片的状态，最可靠的方法是用远红外测温仪器进行定量测试。

维修经验表明，有些部位发热是由于其自身缺陷引发的，而有些部位过热则是相邻部

位发热传导所致。例如，接线座内部的软连接过热就可以通过热传导和对流使接线座发热，如果不将两者的温度进行比较分析，就不能准确地判断发热的具体部位。可使用红外点温仪测温，将仪器功能设置在“即时温度”位置，对准被测物缓慢移动，找出最高温度点，然后进行分析比较诊断，找出真正的发热部位。

2）把好初始状态关

隔离开关投运前应解体检修，严禁使用有缺陷的劣质线夹、螺栓等零部件，用压接式设备线夹替换螺栓式设备线夹，铜铜、铜铝连接采用搪锡工艺，接头接触面要清洗干净并及时涂抹导电脂，螺栓使用应正确、紧固力度适中。

3）科学合理地安排检修施工

对过热频率较高的母线侧隔离开关，要保证检修到位、保证检修质量。对接线座部位，要重点检查导电带两端的连接情况，保证两端面清洁、平整、压接紧密；对触头部位，要保证触头的光洁度，并涂抹中性凡士林；检查触头的烧伤情况，必要时要更换触头、触指，有过热、锈蚀现象的弹簧应更换；要保证三相分合闸同期、右触头的插入深度符合要求和两侧触指压力均匀。为了检验检修质量，还应测量回路接触电阻，保证各接触面接触良好。

训练场 2——隔离开关导电回路发热的检修

1）导电回路发热的原因

（1）接触面氧化或触头处存有油污，使接触电阻增加，当电流通过触头时温度就会超过允许值，有烧红以致熔接的可能。

（2）运行中由于静触指压紧弹簧长期受压缩，如果工作电流较大，温升超过允许值，就会使其弹性变差，恶性循环，最终造成烧损。

（3）隔离开关过载运行，或隔离开关的接触面不严密、触头插入不够，使电流通路的截面减小，接触电阻增加。

（4）接线座过热。由于昼夜温差大，致使空气中的水蒸气凝结或由于雨雪天水分的渗入，铝质导电杆、接线夹与铜导电带连接处产生电化学腐蚀，导致接触电阻增大发热。

（5）由于导电带装反，使其旋转方向与隔离开关操作转动反向；或其他部位发热造成铜导电带因过热失去弹性；或因受腐蚀性气体长期侵蚀，导电带失去弹性，从而在长期操作中使铜导电带断股，导致实际通流能力下降，引发过热。

（6）导电带螺栓没有紧固，使接触面压力不够，从而发热。

2）处理方法

（1）表面氧化或者存有污垢使接触电阻增大的，可用棉丝布、毛刷蘸稀料擦拭；铜表面氧化可用 00 号砂布打磨；镀银层氧化用含量 25%的氨水浸泡，然后用清水冲洗干净，最后在接触面上涂抹凡士林。

（2）触头压紧弹簧螺栓松动、弹簧变形、特性变坏的，应紧固螺栓，调整弹簧压力。损坏严重的要更换弹簧。

（3）隔离开关过载，可能是系统过电压造成或隔离开关选型不当、额定电流偏小造成，如

果选型不合适，应更换额定电流较大的隔离开关；接触面不严密、触头插入不够的，可对触头进行调整，使其接触紧密，插入深度合格。

（4）接线座发热，应拆除接线座，检查接线座内部零件，腐蚀严重的要更换。检查并紧固导电带螺栓。

4.3.4 高压负荷开关的检修

加油站 1——高压负荷开关的作用、结构及种类

高压负荷开关是一种功能介于高压断路器和高压隔离开关之间的高压电器。高压负荷开关常与高压熔断器串联配合使用，用于控制电力变压器。

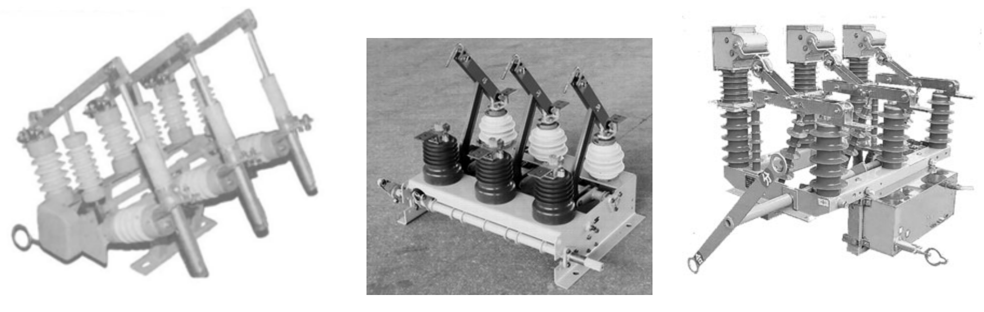
高压负荷开关的结构可以认为是在隔离开关结构的基础上加了一个灭弧室。

在 10kV 供电线路中，目前较为流行的是产气式、压气式和真空式三种高压负荷开关，其特点见表 4-15。在国家标准中，高压负荷开关被分为一般型和频繁型两种。产气式和压气式属于一般型，而真空式属于频繁型。

表 4-15　三种高压负荷开关的特点

类　　型	结　　构	机械寿命（次）
产气式	简单，有可见断口	2 000 次
压气式	较复杂，有可见断口	2 000 次
真空式	复杂，无可见断口	10 000 次

常用高压负荷开关如图 4-48 所示。



（a）产气式　　（b）压气式　　（c）真空式

图 4-48　常用高压负荷开关

加油站 2——高压负荷开关的检修项目

（1）清扫负荷开关所有部件上的灰尘、污物。

（2）检修瓷质部分。

（3）检查接触部分。

（4）检查机构及传动部分。

（5）检查灭弧装置。

（6）金属构架的除锈防腐。

（7）检修后的调整试验。

加油站 3——高压负荷开关检修质量标准

（1）负荷开关的所有部件均应清洁无灰尘、油污。

（2）仔细检查各种绝缘件，应无损伤、裂纹、断裂、老化及放电痕迹。

（3）检查触头烧伤情况，对烧伤表面可用细锉修整，然后涂导电膏或中性凡士林，注油负荷开关要测接触电阻。

（4）检修后三相触头接触时，其同期误差应符合产品的技术要求，动刀片插入静触座的深度不应小于刀宽度的 90%。

（5）调整灭弧装置位置，使其与喷嘴之间不应有过分摩擦。

（6）检修调整触头断开顺序，使灭弧触头的接触要先于主触头，分开时其顺序相反。

（7）清洗导电部分的旧油脂，涂以导电膏或中性凡士林，触头应接触紧密，两侧压力均匀。

（8）机构和传动部分检查后应达到下列要求：

① 所有传动机构应转动灵活，无卡涩现象，并涂以适合当地气候条件的润滑脂。

② 传动部分的定位螺钉应调整适当，并加以固定，防止传动装置的拐臂越过死点。

③ 负荷开关的传动拉杆及保护环完好。

④ 操动机构检修后，应进行不少于 3～5 次的合闸试验，刀片与触座的接触应良好。

（9）灭弧筒内产生气体的有机绝缘物应完整无裂纹；灭弧触头与灭弧筒的间隙应符合产品的技术规定。

（10）合闸时，固定主触头应可靠接地、与刀片接触；分闸时，三相灭弧刀刃应同时跳离灭弧触头。

（11）检修调整负荷开关合闸后触头间的相对位置、备用行程及拉杆角度，应符合产品的技术规定。

（12）开关的辅助切换接点应牢固，动作准确，接触良好。

（13）检修完毕后应进行速度试验，其刚分和刚合速度应符合产品的技术要求。

（14）负荷开关的金属构架应防腐良好，接地可靠。

训练场——高压负荷开关常见故障检修

1）熔断器熔断

熔断器熔断是负荷开关的常见故障，一般来说是由于系统短路或过负荷所致，或者熔体选得过小。通常应查明原因，排除故障后更换符合要求的熔体。

2）触头发热或烧坏

这种故障一般是由于三相触点合闸时不同步、压力调整不当、触点接触不良、过负荷运行及操动机构有问题造成的。

（1）当开关在断开、闭合位置时，拐臂不能高支在缓冲器上。操纵机构手柄的角度要与主轴的旋转角度互相配合（主轴旋转角度约 105°），并使开关在断开、闭合位置时，拐臂都能高支在缓冲器上。如果达不到要求，应通过调整扇形板上的不同连接孔或改变拐臂长度来达到。

（2）长期运行，在银触头表面产生一层黑色硫化银，使接触电阻增大。对于镀银触头，不宜用打磨法，而应用以下方法处理：①拆下触头，用汽油清洗干净；②用刮刀修平伤痕，然后将触头浸入 25%～28%的氨水中浸泡，15min 取出；③用尼龙刷刷去已变得非常疏松的硫化银层；④用清水清洗触头，并擦干，再涂上导电膏或中性凡士林，即可使用。

（3）负荷开关的刀开关与主静触头之间要有合适的开断空间距离。若超出此范围，可通过调节操纵机构中的拉杆长度或负荷开关橡胶缓冲器上的垫片来达到。

（4）在合闸位置，调整刀开关的下边缘，使其与主静触头的红线标志上边缘相齐。若不能达到要求，可将刀开关与绝缘拉杆间的轴销取出，通过调节装在内部的六角偏心零件来达到。

（5）负荷开关在分闸过程中，灭弧动触头与灭弧喷嘴不应有较大的摩擦，否则应对灭弧动触头与刀开关间隙进行调节，并检查灭弧静触头的装置是否符合要求。

（6）在开关合闸时，开关三相灭弧触头的不同时接触偏差不应大于 2mm，否则可通过调节刀开关与绝缘拉杆处的六角偏心接头来达到。

3）闸刀不能拉合

（1）操纵机构本身有故障或锈蚀。可轻轻摇动操纵机构，找出阻碍操作的部位进行检修，切不可硬拉硬合。

（2）闸刀结冰。闸刀若被冰冻住，可轻轻摇动操纵机构进行破冰，若仍不行，应停电除冰。

（3）连接轴磨损严重或脱落，应更换轴销。

4）支持绝缘子损伤

（1）绝缘子自然老化或胶合不好，引起瓷件松动、掉簧或瓷釉脱落。应加强巡视，避免闪络和短路事故。

（2）传动机构配合不良，使绝缘子受过大的应力。需重新调整传动机构。

（3）操作时用力过猛。负荷开关的拉、合闸操作要迅速，但不能用力过猛。

（4）外力造成机械损伤。负荷开关在安装和使用过程中，要防止外力损伤绝缘子。

4.4 电气接地装置的检修

4.4.1 电气设备接地技术

加油站 1——电气设备接地技术的几个概念

电气设备必须接地的部分与地进行良好的连接，称为接地。埋入地中并直接与大地接触的金属导体称为接地体；电气设备接地部分与接地体连接用的金属导体称为接地线。

接地体与接地线总称为接地装置。接地装置供工作接地和保护接地之用。接地线又分为接地干线和接地支线两种。

接地装置按照接地体数量的多少，可分为单极接地装置、多极接地装置和接地网络。

为保证电气设备在正常情况下能可靠地运行，将电路中的某一点与大地进行电气上的连接，如三相变压器中性点接地、三相发电机中性点接地及防雷接地等，称为工作接地。

为保证安全，防止人体触及带电外壳触电，将电机、电器的金属外壳及同外壳相连的金属架与大地进行电气上的连接，如发电机、电动机、变压器等外壳接地，称为保护接地。

在三相四线制的低压系统中，将电器、电机的外壳和中性点直接与接地系统中的中性线（零线）相接，称为接零。

加油站 2——低压系统接地的几种方式

1）TN 系统

系统有一点直接接地，装置的外露导电部分用保护线与该点连接。按照中性线与保护线的组合情况，TN 系统接地有 3 种方式。

（1）TN-S 系统。整个系统的中性线与保护线是分开的，如图 4-49 所示。

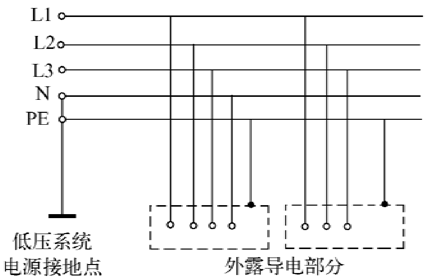


图 4-49　TN-S 系统接地

（2）TN-C-S 系统。系统中有一部分中性线与保护线是合一的，如图 4-50 所示。

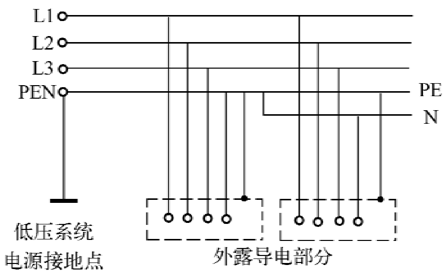


图 4-50　TN-C-S 系统接地

（3）TN-C 系统。整个系统的中性线与保护线是合一的，如图 4-51 所示。

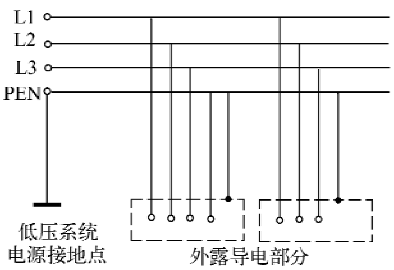


图 4-51　TN-C 系统接地

2）TT 系统

TT 系统有一个直接接地点，电气装置的外露导电部分接至该接地点，与低压系统的接地点无关，如图 4-52 所示。

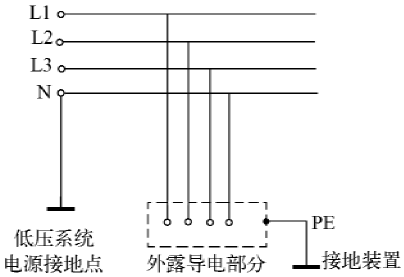


图 4-52　TT 系统接地

3）IT 系统

IT 系统的带电部分与大地间不直接连接（经阻抗接地或不接地），而电气装置的外露导电部分则是接地的，如图 4-53 所示。

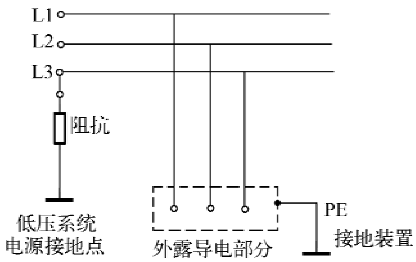


图 4-53　IT 系统接地

加油站 3——电气设备的接地方法

电气设备的接地通常用直接焊接和采用螺栓连接两种方法。一般不需要移动的设备构架、底盘等常采用焊接；但对于检修时需要拆卸、移动的设备，如变压器、电动机等，则应采用螺栓连接。

设备直接通过接地扁钢接地，需将连接端打孔后加工、搪锡，以防止接触面锈蚀。连接时，螺栓应带弹簧垫圈。如果是圆钢接地线，则需将圆钢端头弯成合适的圆圈，再将圆圈加热打扁并加工后搪锡，使接触良好，圆圈内孔以稍大于接地螺栓直径为宜，圆圈应顺时针弯成。用多股铜线做接地线，主要用于从接地支线引至设备的一段，而且是扁钢或圆钢接地线不便于直接引接的地方，将两端弯圈后，再用螺栓连接。

4.4.2　电气接地装置的检修

接地装置如同其他电气设备和电气装置一样，应进行定期的检查和维修，使其工作可靠，减少事故的发生。

加油站 1——接地装置定期维护项目

接地装置在运行中接地线与接零线有时遭到外力破坏或腐蚀，会有损伤或断裂。另外，随着土壤的变化，接地电阻也会变化。因此，必须对接地装置进行定期检查和维护。

（1）接地电阻的阻值应定期复测。工作接地每隔半年至一年复测一次；保护接地每隔 1～2 年复测一次。测得接地电阻增大时，应及时维修，不可强行使用。

（2）接地装置的每一个连接点，尤其是采用螺钉或压接的连接点，应每隔半年至一年检查一次，连接点出现松动，必须及时拧紧。采用焊接的连接点，也应定期检查焊接是否符合标准。

（3）接地线的每个支持点，应定期进行检查。发现松动或脱落，应及时固定好。

（4）应定期检查接地体和接地体连接干线是否出现严重锈蚀。若有严重锈蚀，应及时更换，不能强行使用。

加油站 2——运行中的安全检查

（1）检查接地线各连接点的接触是否良好，有无损伤、折断和腐蚀现象。

（2）对含有重酸、碱、盐和金属矿岩等化学成分的土壤地带，应定期对接地装置的地下 500mm 以上部位挖开进行检查，观察接地体的腐蚀程度。

（3）检查分析所测量的接地电阻值变化是否符合要求，并在土壤电阻率最大时进行测量，应做好记录，以便分析、比较。

（4）设备每次检修后，应检查接地线是否牢固。

（5）检查接地支线和接地干线是否连接牢固。

（6）检查接地线与电气设备及接地网的接触是否良好，若有松动脱落现象，要及时修补。

（7）对移动式电气设备的接地线，应在每次使用前检查接地情况，观察有无断股等现象。

中转站——寻找接地故障的方法

（1）当发现接地指示仪的一相电压降低、其他两相电压正常时，应先检查绝缘监视用的电压互感器的熔体有无熔断。

（2）断开分段断路器，判断接地点在哪一段母线上。

首先，断开绝缘性能较差、防雷性能较弱、路径较长、分支线较多、负荷较轻而重要性较小的线路，当线路有重合闸装置时，可利用该装置来查找接地故障。其次，配电线路检查完后，若故障仍然存在，应检查母线上的电器和电源。最后，用调换备用母线的方法来检查母线系统。

（3）寻找接地故障时，可进行外观检查，直接用手操作断路器，用钳形电流表测量接地电流，但应戴绝缘手套、穿绝缘靴，防止直接触及已经接地的金属。

（4）若发现接地故障危及人身和设备的安全，应立即拉闸断开故障线路，及时进行处理。

训练场 1——接地装置常见简单故障的排除

（1）连接点松动或脱落。最容易出现松动的是移动电具的接地线与外壳之间的连接处，发现松动时应及时处理。

（2）遗漏接地或接错位置。在设备进行维修或更换时，一般都要拆卸接地线头。在重新安装设备时，往往会因疏忽而把接地线头漏接或接错，发现后应及时改正。

（3）接地线局部电阻大。常见的是连接点存在轻度松动；连接点的接触面存在氧化层或其他污垢；跨度过渡线松散等。若有上述情况，应重新拧紧压接螺钉或清除氧化层及污垢并连接好。

（4）接地线面积太小。这种情祝通常是由于设备容量增加而接地线没有进行相应的更换，应及时更换接地线。

（5）接地体露出地面，应将接地体深埋，并填土覆盖、夯实。

（6）接地线有机械损伤、断股或化学腐蚀现象，应更换截面积较大的镀锌或镀铜接地线，或在土壤中加入中和剂。

训练场 2——零线带电的检修

低压三相四线制供电网络均采用中性点（零线）直接接地，从而使零钱与大地的电位差形成等电位。根据这一原理，供电部门常常利用等电位的原理来制定带电作业或者电工操作的安全措施。一旦某一地区（部位）产生电位差，电工操作过程中就必须采取安全措施，否则将有触电危险。例如，配电变压器 380/220V 侧配电系统零线带电，会影响整个网络的正常供电，危及人身及设备安全。应尽快查明原因，排除故障后方可供电。

（1）线路上有电气设备漏电，而保护装置未动作，使零线带电。应停电检修，找出漏电的设备予以修复，并查找保护装置未动作的原因。

（2）线路上有一相接地，电网中的总保护装置未保护，使零线带电。停电后，首先用摇表对线路进行测量，看线路是否有绝缘不好的地方。测量时注意线路中的仪表要断开。

（3）零线接触不良或者断裂。当配电变压器内部零线接头接触不良或者计量箱内零线接头由于年久失修氧化松动时，负荷侧的照明灯会出现忽亮忽暗现象，最亮时灯泡可能烧毁。其原因是零线接头接触不良所致，灯泡忽亮，是由于相电压电位偏移，使得该相电压升高到 220V 以上，有可能造成灯泡或者正在使用的家用电器烧毁，甚至危及人身安全。户外三相四线低压线路如果在某一处零线连接点发生接触不良，也会造成以上故障。因此，应尽量减少线路途中的零线接头，以保证正常供电。

（4）在接零电网中，有个别电气设备采取保护接地而且漏电，使零线带电。检修时，首先要分清系统是接零系统还是接地系统，或是接零系统中进行了重复接地，然后再正确安装接地线。

（5）维修线路时误接零钱。当配电变压器需要检修，在拆开低压连线时，务必按照原来的配电线路相序排列做好记号，检修完毕再按原来的顺序记号接线，防止零线与相线对换，造成零线带电引起事故。

（6）在电网中，有的电气设备的绝缘已破坏而漏电，使零线带电。检查出绝缘电阻不符合规程要求的电气设备，予以修理。

（7）零线接触良好，但接地电阻大。按照国家有关变压器安装标准，配电变压器容量在 100kV·A 以下的接地电阻应小于 10Ω，100kV·A 以上的接地电阻应小于 4Ω。否则，低压线路送得越远，在负荷侧的零线接地电阻就越大，零线会出现带电现象。在这种情况下，采取的措施是在负荷侧总的计量箱前将零线重复接地，接地电阻小于 4Ω可以排除。

（8）高压窜入低压，使零线带电。这种故障是最难解决的一种，对人有危险。一定要按操作规程去操作。

（9）高压采取二线一地运行方式，其接地体与低压工作接地或重复接地体相距太近时，由于高压侧工作接地上的电压降而影响低压侧的工作接地，使零线带电。应查出原因，按相应的规程对线路重新进行敷设。

上述前 5 种情况较为普遍，应查明原因，采取相应措施予以消除。在接地网中采取保护接零措施时，必须有一个完整的接零系统，才能消除零线带电。

指点迷津——保护接零系统的安全要求

（1）工作接地装置必须完好、合格，符合规定要求。

（2）接零网和重复接零装置必须完好，符合规定要求。

（3）单相短接电流必须满足线路上保护装置的动作要求。

（4）保护装置选定和整定正确，动作灵敏可靠。



训练场 3——接地点土壤电阻率很高的处理

（1）换土。用电阻率较低的粘土、黑土或砂质粘土替换电阻率较高的土壤，一般换掉接地体上部的 1/3 长度、周围 0.5m 以内的土壤，换新土后应进行夯实。

（2）深埋。若接地点的深层土壤电阻率较低，可适当增加接地体的埋设深度，最好埋到有地下水的深处。

（3）外引接地。用金属引线将接地体引至附近电阻率较低的土壤中或常年不冻的河、塘水中，或敷设水下接地网，以降低接地电阻。

（4）化学处理。在接地点的土壤中混入炉渣、废碱液、木炭、炭黑、食盐等化学物质或采用专门的化学降阻剂，均可有效降低土壤的电阻率。

（5）保水。将接地极埋在建筑物的背阳面或比较潮湿处；将污水引向埋设接地体的地点，当接地体用钢管时，每隔 200mm 钻一个直径为 5mm 的孔，使水渗入土中。

（6）延长。延长接地体，增加与土壤的接触面积，以降低接地电阻。

（7）对冻土的处理。在冬天，往接地点的土壤中加泥炭，防止土壤冻结，或将接地体埋在建筑物的下面。

第 5 章　变压器的检修

5.1　变压器简介

5.1.1　常用变压器种类

加油站——常用变压器的种类

变压器的类型很多，按照不同的分类方法，常用变压器的种类见表 5-1。

表 5-1　常用变压器的种类

分类方法	种　类	功能及说明
按相数分	单相变压器	用于单相负荷和三相变压器组
	三相变压器	用于三相电力系统的升、降电压
按冷却方式分	干式变压器	依靠空气对流进行冷却，如通常用于工厂及车间局部区域供电的小容量变压器
	油浸式变压器	依靠油作为冷却介质，如油浸自冷、油浸风冷、油浸水冷、强迫油循环等，是目前电力系统中应用面最广的变压器
按用途分	电力变压器	用于输配电系统的升、降电压
	仪用变压器	如电压互感器、电流互感器，用于测量仪表和继电保护装置
	试验变压器	能产生高压，对电气设备进行高压试验
	特种变压器	如电炉变压器、整流变压器、调整变压器等
按绕组形式分	双绕组变压器	用于连接电力系统中的两个电压等级
	三绕组变压器	一般用于电力系统区域变电站中，连接三个电压等级
	自耦变电器	用于连接不同电压的电力系统。也可作为普通的升压或降压变压器用
按铁芯形式分	芯式变压器	用于高压的电力变压器
	壳式变压器	用于大电流的特殊变压器，如电炉变压器、电焊变压器；或用于电子仪器及电视、收音机等的电源变压器

5.1.2　电力变压器的作用及结构

加油站 1——电力变压器的作用

电力变压器是发电厂和变电所的主要设备之一。变压器的作用是多方面的，不仅能升高电压将电能送到用电地区，还能将电压降低为各级使用电压，以满足用电的需求。总之，升压与降压都必须由变压器来完成。

在电力系统传送电能的过程中，必然会产生电压和功率两部分损耗，当输送同一功率时电压损耗与电压成反比，功率损耗与电压的平方成反比。利用变压器提高电压，可减小送电损失。

加油站 2——变压器的主要部件

电力变压器主要由铁芯和绕组两大部分组成，此外还有油箱和其他附件。

1）铁芯

铁芯的作用是构成磁路，铁芯用硅钢片叠装而成，并且硅钢片间彼此绝缘，以阻止涡流在片间流通。

2）绕组

绕组（或线圈）是变压器的电路部分，电力变压器的绕组都做成圆筒形，按照高低绕组相互位置的不同，可分为同芯式绕组和交叠式绕组。

3）油箱

油箱是变压器的外壳。油箱内的变压器油起到绝缘和冷却的作用。油箱的形状与变压器的冷却方式有密切的关系，油箱用钢板焊成，多呈椭圆桶状。

4）其他附件

（1）储油柜（油枕），是一个圆桶形容器，装在油箱的上方，其一端装有油位计。

（2）呼吸器，内装变色硅胶，有铁管与油枕相连。

（3）压力释放阀，作为变压器的内部故障绝缘油泄漏通道。

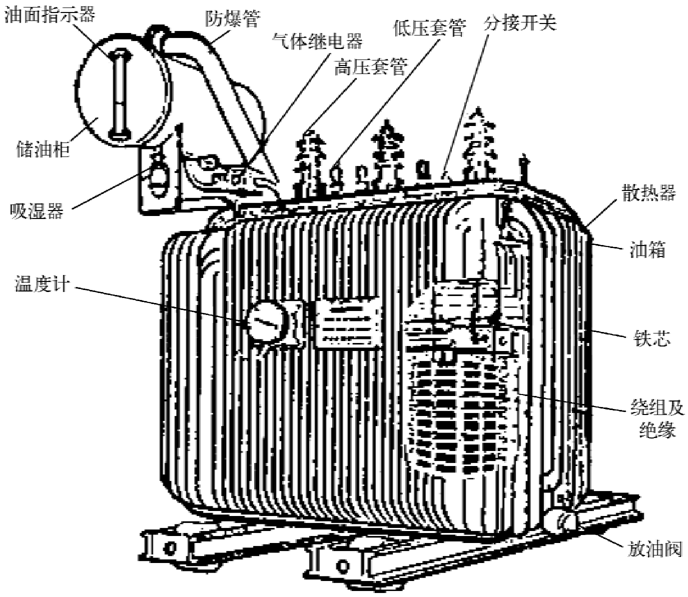
（4）绝缘套管，一般为瓷质。变压器的高低压绕组的引出线经套管与油箱绝缘。

（5）调压开关，分无线调压开关和有线调压开关两大类。

（6）气体继电器（又名瓦斯继电器），是变压器内部故障的保护装置，装在变压器的油箱和储油柜之间的管道中。

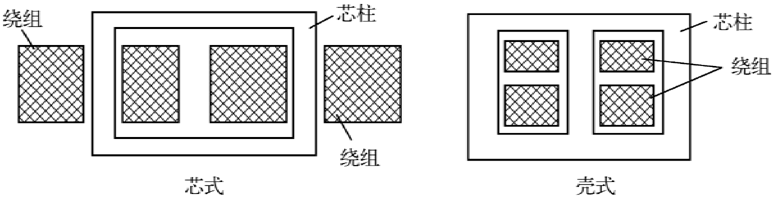
（7）冷却风扇，分为手动控制和自动控制两种。

如图 5-1 所示为普通油浸三相式电力变压器的结构图。



(a) 变压器外形

图 5-1　油浸三相式电力变压器的结构



(b) 铁芯形状

图 5-1　油浸三相式电力变压器的结构（续）

5.2　电力变压器的检查与维护

5.2.1　变压器运行与维护

加油站——变压器投入运行前的检查项目

电力变压器安装结束，各项交接试验和技术特性测试合格后，便进入启动试运行阶段。这个阶段是指变压器开始带电，可能的最大负荷连续运行 24h 所经历的过程。变压器投入运行前，应进行严格而全面的检查，检查项目如下：

（1）检查所有紧固件、连接件是否有松动，并重新紧固。

（2）检查接线组别是否按要求连接，分接挡的连接片是否固定在要求的挡位。

（3）检查本体（器身）、冷却装置及所有附件应无缺陷，且不渗油。

（4）检查在安装过程中是否还有异物或工具遗留。

（5）检查外壳、铁芯装配是否永久性接地。

（6）检查相色标志应正确，油漆应完整。

（7）事故排油设施应完好，消防设施应齐全。

中转站——变压器的运行标准

1）运行允许温度

变压器的运行允许温度是根据变压器所使用绝缘材料的耐热强度而规定的最高温度。普通油浸式电力变压器的绝缘属于 A 级，其运行允许温度为 105℃。多年的变压器运行经验证明，变压器绕组温度连续运行在 95℃时，就可以保证变压器具有适当的合理寿命（约 20 年）。变压器油温超过 85℃时，油的氧化速度加快，老化得越快。

2）运行允许温升

变压器的运行允许温度与周围空气最高温度之差为运行允许温升。空气最高气温规定为+40℃。同时还规定：最高日平均温度为+30℃，最高年平均温度为+20℃，最低气温为−30℃。

温度与温升的关系为：

允许温度=允许温升+40℃（周围空气的最高温度）

3）额定容量和受温度影响的实际容量

电力变压器的额定容量是指在规定环境温度条件下，户外安装时，在规定的使用年限

（一般为 20 年）内所能连续输出的最大视在功率。

4）变压器的正常过负荷能力

油浸式电力变压器在必要时可以过负荷运行而不致影响其使用寿命。

5.2.2　电力变压器的检查

加油站 1——电力变压器不停电检查

根据中华人民共和国电力行业标准《电力变压器检修导则》（DL/T 573—2010）的规定，电力变压器不停电检查（例行检查）的周期、项目及要求见表 5-2。

表 5-2　变压器不停电检查周期、项目及要求

序号	检查部位	检查周期	检查项目	要求
1	变压器本体	必要时	温度	（1）顶层油温度计、绕组温度计的外观完整，表盘密封良好，温度指示正常； （2）测量油箱表面温度，无异常现象
			油位	（1）油位计外观完整，密封良好； （2）对照油温与油位的标准曲线检查油位指示正常
			渗漏油	（1）法兰、阀门、冷却装置、油箱、油管路等密封连接处，应密封良好，无渗漏痕迹； （2）油箱、升高座等焊接部位质量良好，无渗漏油现象
			异声和振动	运行中的振动和噪声应无明显变化，无外部连接松动及内部结构松动引起的振动和噪声；无放电声响
			铁芯接地	铁芯、夹件外引接地应良好，接地电流宜在 140mA 以下
2	冷却装置	必要时	运行状况	（1）风冷却器风扇和油泵的运行情况正常，无异常声音和振动，水冷却器的压差继电器和压力表的指示正常； （2）油流指示正确，无抖动现象
			渗漏油	冷却装置及阀门、油泵、管路等无渗漏
			散热情况	散热情况良好，无堵塞、气流不畅等情况
3	套管	必要时	瓷套情况	（1）瓷套表面应无裂纹、破损、脏污及电晕放电等现象； （2）采用红外测温装置等手段对套管，特别是装硅橡胶增爬裙或涂防污涂料的套管，重点检查有无异常
			渗漏油	（1）各部密封处应无渗漏； （2）电容式套管应注意电容屏末端接地套管的密封情况
			过热	（1）用红外测温装置检测套管内部及顶部接头连接部位温度情况； （2）接地套管及套管电流互感器接线端子是否过热
			油位	油位指示正常
4	吸湿器	必要时	干燥度	（1）干燥剂颜色正常； （2）油盒的油位正常
			呼吸	呼吸正常，并随着油温的变化油盒中有气泡产生，若发现呼吸不正常，应防止压力突然释放
5	无励磁分接开关	必要时	位置	（1）挡位指示清晰、指示正确； （2）机械操作装置应无锈蚀
			渗漏油	密封良好，无渗油
6	有载分接开关	必要时	电源	（1）电压应在规定的偏差范围之内； （2）指示灯显示正常
			油位	储油柜油位正常
			渗漏油	开关密封部位无渗漏油现象
			操作机构	（1）操作齿轮机构无渗漏油现象； （2）分接开关连接、齿轮箱、开关操作箱内部等无异常

续表

序号	检查部位	检查周期	检查项目	要求
6	有载分接开关	必要时	油流控制继电器（气体继电器）	应密封良好，无集聚气体
7	开关在线滤油装置	必要时	运行情况	（1）在滤油时，检查压力、噪声和振动等无异常情况； （2）连接部分紧固
			渗漏油	滤油机及管路应无渗漏油现象
8	压力释放阀	必要时	渗漏油	应密封良好，无喷油现象
			防雨罩	安装牢固
			导向装置	固定良好，方向正确，导向喷口方向正确
9	气体继电器	必要时	渗漏油	应密封良好
			气体	无集聚气体
			防雨罩	安装牢固
10	端子箱和控制箱	必要时	密封性	密封良好，无雨水进入、潮气凝露
			接触	接线端子应无松动和锈蚀，接触良好、无发热痕迹
11	在线监测装置	必要时	运行状况	（1）无渗漏油； （2）工作正常

加油站 2——变压器停电检查

根据中华人民共和国电力行业标准《电力变压器检修导则》（DL/T 573—2010）的规定，电力变压器停电检查的周期、项目及要求见表 5-3。

表 5-3 变压器停电检查的周期、项目及要求

序号	检查部位	检查周期	检查项目	要求
1	冷却装置	1～3 年或必要时	振动	开启冷却装置，检查是否有不正常的振动和异响
			清洁	（1）检查冷却器管和支架的脏污、锈蚀情况，若散热效果不良，应每年至少进行 1 次冷却器管束的冲洗； （2）必要时对支架、外壳等进行防腐（漆化）处理
			绝缘电阻	采用 500V 或 1 000V 绝缘电阻表测量电气部件的绝缘电阻，其值应不低于 1MΩ
			阀门	检查阀门是否正确开启
			负压检查	逐台关闭冷却器电源一定时间（30min 左右）后，检查冷却器负压区应无渗漏现象。若存在渗漏现象应及时处理，并消除负压现象
2	水冷却器	1～3 年或必要时	运行状况	（1）压差继电器和压力表的指示是否正常； （2）冷却水中应无油花； （3）运行压力应符合制造厂的规定
3	电容型套管	1～3 年或必要时	瓷件	（1）瓷件应无放电、裂纹、破损、脏污等现象，法兰无锈蚀； （2）必要时校核套管外绝缘爬距，应满足污秽等级的要求
			密封及油位	套管本体及与箱体连接密封应良好，油位正常
			导电连接部位	（1）应无松动； （2）接线端子等连接部位表面应无氧化或过热现象
			末屏接地	末屏应无放电、过热痕迹，接地良好
4	充油套管	1～3 年或必要时	瓷件	（1）瓷件应无放电、裂纹、破损、脏污等现象，法兰无锈蚀； （2）必要时校核套管外绝缘爬距，应满足污秽等级的要求
			密封及油位	套管本体及与箱体连接密封应良好，油位正常
			导电连接部位	（1）应无松动； （2）接线端子等连接部位表面应无氧化或过热现象

续表

序号	检查部位	检查周期	检查项目	要　求
5	无励磁分接开关	1～3 年或必要时	操作机构	（1）限位及操作正常； （2）转动灵活，无卡涩现象； （3）密封良好； （4）螺栓紧固； （5）分接位置显示应正确一致
6	有载分接开关	1～3 年或必要时	操作机构	（1）两个循环操作各部件的全部动作顺序及限位动作，应符合技术要求； （2）各分接位置显示应正确一致
			绝缘测试	采用 500V 或 1 000V 绝缘电阻表测量辅助回路绝缘电阻，其值应大于 1MΩ
7	油流带电的泄漏电流	必要时	中性点（330kV 及以上变压器）	开启所有油泵，稳定后测量中性点泄漏电流，应小于 3.5 μ A
8	其他	1～3 年或必要时	气体继电器	（1）密封良好，无渗漏现象； （2）轻、重瓦斯动作可靠，回路传动正确无误； （3）观察窗清洁，刻度清晰
			压力释放阀	（1）无喷油、渗漏油现象； （2）回路传动正确； （3）动作指示杆应保持灵活
			压力式温度计、热电阻温度计	（1）温度计内应无潮湿气凝露，并与顶层油温基本相同； （2）比较压力式温度计和热电阻温度计的指示，差值应在 5℃之内； （3）检查温度计接点整定值是否正确，二次回路传动是否正确
			绕组温度计	（1）温度计内应无潮湿气凝露； （2）检查温度计接点整定值是否正确
			油位计	（1）内部应无潮湿气凝露； （2）浮球和指示的动作是否同步； （3）应无虚假油位现象
			油流继电器	（1）内部应无潮湿气凝露； （2）指针位置是否正确，油泵启动后指针应达到绿区，无抖动现象
			二次回路	（1）采用 500V 或 1 000V 绝缘电阻表测量继电器、油温指示器、油位计、压力释放阀二次回路的绝缘电阻应大于 1MΩ； （2）接线盒、控制箱等防雨、防尘是否良好，接线端子有无松动和锈蚀现象

5.3　电力变压器的故障诊断与检修

5.3.1　电力变压器的故障诊断

加油站——电力变压器故障诊断的必要性

运行的变压器发生不同程度的故障时，会产生异常现象或信息。故障诊断就是收集变压器的异常现象或信息，根据这些现象或信息进行分析，从而判断故障的性质、严重程度和部位。电力变压器诊断故障具有以下三个作用：

（1）及时发现局部故障和轻微故障，以便采取措施消除故障，防止变压器损坏而停运，提高电力系统运行可靠性，减小损失。

（2）发现运行中的问题，为改进运行维护措施和修订运行规程提供依据。

（3）发现产品质量问题，为改进设计和制造工艺提供依据。

电力变压器是电力系统中重要的电气设备之一，它一旦发生事故，所需的修复时间较长，

造成的影响也比较严重。一般而言，容量越大，电压等级越高，变压器故障造成的损失也就越大。因此，加强对电力变压器的监视以防事故于未然，在事故发生时尽快确定故障的性质及部位，都是很有必要的。

训练场 1——变压器本体声音异常的检查与处理

电力变压器常见本体声音异常情况的检查与处理措施见表 5-4。

表 5-4　变压器本体声音异常的检查与处理措施

序号	异 常 现 象	异 常 原 因	检查方法或部位	判断与处理措施
1	连续的高频率尖锐声	过励磁	运行电压	运行电压高于分接位置所在的分接电压
		谐波电流	谐波分析	存在超过标准允许的谐波电流
		直流电流	直流偏磁	中性点电流明显增大，存在直流分量
		系统异常	中性点电流	电网发生单相接地或电磁共振，中性点电流明显增大
2	异常增大且有明显的杂音	铁芯结构件松动	听声音来源	夹件或铁芯的压紧装置松动，硅钢片振动增大，或个别紧固件松动
		连接部位的机械振动	听声音来源	连接部位松动或不匹配
		直流电流	直流偏磁	中性点电流明显增大，存在直流分量
3	“吱吱”或“劈啪”声	接触不良引起的放电	套管连接部位	套管与母线连接部位及压环部位接触不良
			油箱法兰连接螺栓	油箱上的螺栓松动或金属件接触不良
4	“嘶嘶”声	套管表面或导体棱角电晕放电	红外测温，紫外测光	套管表面脏污、釉质脱落或有裂纹
				受浓雾等恶劣天气影响
5	沸腾声	局部过热或充氮灭火装置氮气充入本体	温度和油位	油位、油温或局部油箱壁温度异常升高，表明变压器内部存在局部过热现象
			气体继电器内气体	分析气体成分，区分故障原因
			听声音的来源	倾听声音的来源，或用红外仪检测局部过热的部位，根据变压器的结构，判定具体部位
6	“哇哇”声	过载	负载电流	过载或冲击负载产生的间歇性杂声
			中性点电流	三相不均匀过载，中性点电流异常增大

训练场 2——冷却器声音异常的检查与处理

冷却器声音异常情况的检查方法与处理措施见表 5-5。

表 5-5　冷却器声音异常的检查方法与处理措施

序号	异 常 现 象	异 常 原 因	检查方法或部位	处 理 措 施
1	油泵均匀的周期性“咯咯”金属摩擦声	电动机定子与转子间的摩擦或有杂质	（1）听其声音； （2）测量振动	更换油泵
		叶片与外壳间的摩擦		
2	油泵的无规则非周期性金属摩擦声	轴承破裂	（1）听其声音； （2）测量振动	更换轴承或油泵
3	油路管道内的“哄哄”声	进油处的阀门未开启或开启不足	（1）听其声音； （2）测量振动	开启阀门
		存在负压	检查负压	消除负压

训练场 3——绝缘受潮异常情况检查与处理

由于进水受潮，出现了油中含水量超出标准值、绝缘电阻下降、泄漏电流增大、变压器本体介质损耗因数增大、油耐压下降等现象，其检查方法与处理措施见表 5-6。

表 5-6　绝缘受潮异常情况检查方法与处理措施

序号	检查方法或部位	判断与处理措施
1	含水量测定、油中溶解气体分析	（1）油中含水量超标； （2）H_2 持续增长较快
2	冷却器检查	（1）逐台停运冷却器（阀门开启），观察冷却器负压区是否存在渗漏； （2）在冷却器的进油放气塞处测量油泵运行时的压力是否存在负压
3	气样分析	若气体继电器内有连续不断的气泡，应取样分析，若无故障气体成分，则表明变压器可能在负压区有渗漏现象
4	油中含气量分析	油中含气量有增长趋势，可能存在渗漏现象
5	各连接部位的渗漏检查	有渗漏时应处理
6	吸湿器	检查吸湿器的密封情况，变色硅胶颜色和油杯油量是否正常
7	储油柜	检查储油柜与胶囊之间的接口密封情况，胶囊是否完全撑开，与储油柜之间应无气体
8	胶囊或隔膜	胶囊或隔膜是否有水迹和破损及老化龟裂现象，若有应及时处理或更换
9	整体密封性检查	在保证压力释放阀或防爆膜不动作的情况下，在储油柜的最高油位上施加 0.035MPa 的压力 12h，观察变压器所有接口是否渗漏
10	套管检查	通过正压或负压法检查套管密封情况，若有渗漏现象应及时更换套管顶部连接部位的密封胶垫
11	内部检查	（1）检查油箱底部是否有水迹，若有，应查明原因并予以消除； （2）检查绝缘件表面是否有起泡现象，若有表明绝缘已进水受潮，可进一步取绝缘纸样进行含水量测试，或进行燃烧试验，若燃烧时有轻微“劈啪”声，即表明绝缘受潮，应进行干燥处理； （3）检查放电痕迹，若绝缘件因进水受潮引起放电，则放电痕迹有明显水流迹象，且局部受损严重，油中会产生 H_2（氢气）、CH_4（甲烷）和 C_2H_2（乙炔）主要气体。在器身干燥处理前，应对受损的绝缘子部件以更换

训练场 4——过热性异常情况检查与处理

当出现总烃超出规定值并持续增长、油中溶解气体分析提示过热、温升超标等过热异常情况时，其检查方法及处理措施见表 5-7。

表 5-7　过热性异常情况的检查方法与处理措施

序号	故障原因	检查方法或部位		判断与处理措施
1	铁芯、夹件多点接地	运行中测量铁芯接地电流		运行中若大于 300mA 时，应加装限流电阻进行限流，将接地电流控制在 100mA 以下，并适时安排停电处理
		油中溶解气体分析		通常热点温度较高，C_2H_6（乙烷）、C_2H_4（乙烯）增长较快
		用兆欧表及万用表测绝缘电阻		（1）若具有绝缘电阻较低（如几十千欧）的非金属短接特征，可在变压器带油状态下采用电容放电方法进行处理，放电电压应控制在 6～10kV 之间； （2）若具有绝缘电阻接近零（如万用表测量几千欧内）的金属性直接短接特征，必要时应吊罩（芯）检查处理，并注意区别铁芯对夹件或铁芯对油箱的绝缘降低问题
		接地点定位	万用表定位法	用 3～4 只万用表，其连接点分别在高低压侧夹件上的左右上下移动，若某两个连接点间的电阻在不断变小，表明测量点在接近接地点
			敲打法	用手锤敲打夹件，观察接地电阻的变化情况，若在敲打过程中有较大的变化，则接地点就在附近

续表

序号	故障原因	检查方法或部位	判断与处理措施
1	铁芯、夹件多点接地	接地点定位：放电法	用试验变压器在接地极上施加不高于 6kV 的电压，若有放电声音，查找放电位置
		接地点定位：红外定位法	用直流电焊机在接地回路中注入一定的直流电流，然后用红外热成像仪查找过热点
2	铁芯局部短路	油中溶解气体分析	通常热点温度较高，H_2、C_2H_6、C_2H_4 增长较快，严重时会产生 C_2H_2
		过励磁试验（1.1 倍）	1.1 倍的过励磁会加剧它的过热，油色谱中特征气体组分会有明显的增长，表明铁芯内部存在多点接地或短路缺陷现象，应进一步吊罩（芯）或进油箱检查
		低电压励磁试验	严重的局部短路可通过低于额定电压的励磁试验，以确定其危害性或位置
		用绝缘电阻表和万用表检测短接性质及位置	（1）目测铁芯表面有无过热变色、片间短路现象，或用万用表逐级检查，重点检查级间和片间有无短路现象，若有片间短路，可松开夹件，每两只片之间用干燥绝缘纸进行隔离； （2）对于分级短接的铁芯，若存在级间短路，应尽量将其断开，若短路点无法消除，可在短路级间四角均匀短接（如在短路的两级间均匀打入长 60～80mm 的不锈钢螺杆或钉）或串电阻
3	导电回路接触不良	油中溶解气体分析	（1）观察 C_2H_6、C_2H_4 和 CH_4 增长速度，若增长速度较快，则表明接触不良已严重，应及时检修； （2）结合油色谱 CO_2 和 CO 的增量及比值，区分是在油中还是在固体绝缘内部或附近过热，若在绝缘附近过热，则 CO、CO_2 增长较快
		红外测温	检查套管连接部位是否有高温过热现象
		改变分接开关位置	可改变分接开关位置，通过油色谱的跟踪，判断分接开关是否接触不良
		油中糠醛含量测试	可确定是否存在固体绝缘部位局部过热，若测定的值有明显变化，则表明固体绝缘存在局部过热，加速了绝缘老化
		直流电阻测量	若直流电阻值有明显的变化，则表明导电回路存在接触不良或缺陷
		吊罩（芯）或进油箱检查	（1）检查分接开关连接引线、触头接触面有无过热性变色和烧损情况； （2）检查引线的连接和焊接部位的接触面有无过热性变色和烧损情况； （3）检查引线是否存在断股和分流现象，防止分流产生过热； （4）套管内接头的连接应无过热性变色和松动情况
4	导线股间短路	油中溶解气体分析	该故障特征是低温过热，油中特征气体增长较快
		过电流试验（1.1 倍）	1.1 倍的过电流会加剧它的过热，油色谱会有明显的增长
		解体检查	打开围屏，检查绕组和引线表面绝缘有无变色、过热现象
		分相低电压下的短路试验	在接近额定电流下比较短路损耗，区别故障相
5	油道堵塞	油中溶解气体分析	该故障特征是低温过热逐渐向中温至高温过热演变，且油中 CO、CO_2 含量增长较快
		油中糠醛含量测试	可确定是否存在固体绝缘部位局部过热，若测定的值有明显变化，则表明固体绝缘存在局部过热，加速了绝缘老化
		过电流试验（1.1 倍）	1.1 倍的过电流会加剧它的过热，油色谱会有明显的增长，可进行油箱或吊罩（芯）检查
		净油器检查	检查净油器的滤网有无破损，硅胶有无进入器身。硅胶进入绕组内会引起油道堵塞，导致过热，若发生应及时清理
		目测	解开围屏，检查绕组和引线表面有无变色、过热现象并进行处理
		油面温度	油面温度过高，而且可能出现变压器两侧油温差较大
6	悬浮电位、接触不良	油中溶解气体分析	该故障特征是伴有少量 H_2、C_2H_2 产生和总烃稳步增长趋势
		目测	逐一检查连接端子接触是否良好，有无变色过热现象，重点检查无励磁分接开关的操作杆 U 形拨叉、磁屏蔽、电屏蔽、钢压钉等有无变色和过热现象
7	结构件或电、磁屏蔽等形成短路环	油中溶解气体分析	该故障具有高温过热特征，总烃增长较快
		绝缘电阻测试	绝缘电阻不稳定，并有较大的偏差，表明铁芯柱内的结构件或电、磁屏蔽等形成了短路环
		励磁试验	在较低的电压下励磁，励磁电流也较大
		目测	（1）逐一检查结构件或电、磁屏蔽等有无短路、变色过热现象； （2）逐一检查结构件或电、磁屏蔽等接地是否良好

续表

序号	故 障 原 因	检查方法或部位	判断与处理措施
8	油泵轴承磨损或线圈损坏	油泵运行检查	（1）声音、振动是否正常； （2）工作电流是否平衡、正常； （3）温度有无明显变化； （4）逐台停运油泵，观察油色谱的变化
		绕组直流电阻测试	三相直流电阻是否平衡
		绕组绝缘电阻测试	采用 500V 或 1 000V 绝缘电阻表测量对地绝缘电阻应大于 1MΩ
9	有载分接开关绝缘筒渗漏	油中溶解气体分析	属高温过热，并具有高能量放电特征
		油位变化	有载分接开关储油柜中的油位异常变化，有载分接开关绝缘筒可能存在渗漏现象
		压力试验	在本体储油柜吸湿器上施加 0.035MPa 的压力，观察分接开关储油柜的油位变化情况，若发生变化，则表明已渗漏

训练场 5——放电性异常情况检查与处理

油中出现放电性异常，H_2 或 C_2H_2 含量升高，其检查方法与处理措施见表 5-8。

表 5-8　放电性异常情况检查方法与处理措施

序号	故 障 原 因	检查方法或部位	判断与处理措施
1	油泵内部放电	油中溶解气体分析	（1）属高能量局部放电，这时产生的主要气体是 H_2 和 C_2H_2； （2）若伴有局部过热特征，则是磨擦引起的高温
		油泵运行检查	油泵内部存在局部放电，可能是定子绕组的绝缘不良引起放电
		绕组绝缘电阻测试	采用 500V 或 1 000V 绝缘电阻表测量对地绝缘电阻应大于 1MΩ
		解体检查	（1）定子绕组绝缘状态，在铁芯、绕组表面上有无放电痕迹； （2）轴承磨损情况，或转子和定子之间是否有金属异物引起的高温磨擦
2	悬浮杂质放电	油中含气量测试	属低能量局部放电，时有时无，这时产生的主要气体是 H_2 和 CH_4
		油颗粒度测试	油颗粒度较大或较多，并含有金属成分
3	悬浮电位放电	油中溶解气体分析	具有低能量放电特征
		目测	（1）所有等电位的连接是否良好； （2）逐一检查结构件或电、磁屏蔽等有无短路、变色、过热现象
		局部放电量测试	可结合局放定位进行局部放电量测试，以查明放电部位及可能产生的原因
4	油流带电	油中溶解气体分析	油色谱特征气体增长
		油中带电度测试	测量油中带电度，若超出规定值，内部可能存在油流带电、放电现象
		泄漏电流或静电感应电压测量	开启油泵，测量中性点的静电感应电压或泄漏电流，若长时间不稳定或稳定值超出规定值，则表明可能发生了油流带电现象
5	有载分接开关绝缘筒渗漏	油中溶解气体分析	油中溶解气体分析属高能量放电，并有局部过热特征
6	导电回路接触不良及其分流	油中金属微量测试	测试结果若金属铜含量较大，表明电导回路存在放电现象
		油中溶解气体分析	油中溶解气体分析属低能量火花放电，并有局部过热特征，这时伴随少量 C_2H_2 产生
7	不稳定的铁芯多点接地	油中溶解气体分析	属低能量火花放电，并有局部过热特征，这时伴随少量 H_2 和 C_2H_2 产生
		运行中测量铁芯接地电流	接地电流时大时小，可采取加限流电阻办法限制，或适时按上述办法停电处理
8	金属尖端放电	油中溶解气体分析	油色谱中特征气体增长
		油中金属微量测试	（1）若铁含量较高，表明铁芯或结构件放电； （2）若铜含量较高，表明绕组或引线放电

续表

序号	故障原因	检查方法或部位	判断与处理措施
8	金属尖端放电	局部放电量测试	可结合局放定位进行局部放电量测试，以查明放电部位及可能产生的原因
		目测	重点检查铁芯和金属尖角有无放电痕迹
9	气泡放电	油中溶解气体分析	具有低能量局部放电特征，产生主要气体是 H_2 和 CH_4
		目测和气样分析	检查气体继电器内的气体，取气样分析，若主要是氧气和氮气，则表明是气泡放电
		油中含气量测试	（1）若油中含气量过大，并有增长的趋势，应重点检查胶囊、油箱、油泵和在线油色谱装置等是否有渗漏； （2）油中含气量接近饱和值时，环境温度或负荷变化较大后会在油中产生气泡
		残气检查	（1）检查各放气塞是否有剩余气体放出； （2）在储油柜上进行抽微真空试验，检查其气体继电器内是否有气泡通过
10	绕组或引线绝缘击穿	油中溶解气体分析	（1）具有高能量电弧放电特征，主要气体是 H_2 和 C_2H_2； （2）涉及固体绝缘材料，会产生 CO 和 CO_2 气体
		绝缘电阻测试	若内部存在对地树枝状的放电，绝缘电阻会有下降的可能，故检测绝缘电阻，可判断放电的程度
		局部放电量测试	可结合局放定位进行局部放电量测试，以查明放电部位及可能产生的原因
		油中金属微量测试	测试结果若存在金属铜含量较大，表明绕组已烧损
		目测	（1）观测气体继电器内的气体，并取气样进行色谱分析，这时主要气体是 H_2 和 C_2H_2； （2）结合吊罩（芯）或进油箱内部，重点检查绝缘件表面和分接开关触头间有无放电痕迹，若有应查明原因，并予以更换处理
11	油箱磁屏蔽接地不良	油中溶解气体分析	以 C_2H_2 为主，且通常伴有 C_2H_4、CH_4 等
		目测	磁屏蔽松动或有放电形成的游离炭
		测量绝缘电阻	打开所有磁屏蔽接地点，对磁屏蔽进行绝缘电阻测量

训练场 6——绕组变形异常的检查与处理

当绕组出现变形异常情况，如电抗或阻抗变化明显、频响特性异常、绕组之间或对地电容量变化明显时，其故障原因主要有如下两点：运输中受到冲击；短路电流冲击。

绕组变形异常的检查方法与处理措施见表 5-9。

表 5-9　绕组变形异常的检查方法与处理措施

序号	检查方法或部位	判断与处理措施
1	低电压阻抗测试	测试结果与历史值、出厂值或铭牌值进行比较，若有较大幅度的变化，表明绕组有变形的迹象
2	频响特性试验	测试结果与历史值进行比较，若有明显的变化，则说明绕组有变形的迹象
3	各绕组介质损耗因数和电容量测试	测试结果与历史值进行比较，若有明显的变化，则说明绕组有变形的迹象
4	短路损耗测试	若测试结果的杂散损耗比出厂值有明显的增长，表明绕组有变形的迹象
5	油中溶解气体色谱分析	测试结果异常，表明绕组已有烧损现象
6	绕组检查	（1）外观检查（包括内绕组）。检查垫块是否整齐，有无移位、跌落现象；检查压块是否有移位、开裂、损坏现象；检查绝缘纸筒是否有窜动、移位的痕迹，若有表明绕组有松动或变形的现象，必须重新紧固并进行有关试验。 （2）用手锤敲打压板检查相应位置的垫块，听其声音判断垫块的紧实度。 （3）检查绝缘油及各部位有无炭粒、炭化的绝缘材料碎片和金属粒子，若有表明变压器已经烧毁，应更换处理。 （4）在适当的位置可以用内窥镜对内部绕组进行检查

5.3.2　电力变压器的检修

加油站 1——造成变压器故障的原因

造成变压器故障的主要原因有以下 5 种。

（1）选用材料或安装不当。包括绝缘等级选择错误，电压分接头选择不当及保护继电器、断路器不完善等。

（2）制造质量不好。由于选取的制造材料（导电材料、磁性材料、绝缘材料等）不好，或是设计的结构不合理，工艺水平不高，造成变压器发生故障。

（3）运行、维护不当。由于操作不当或其他故障造成变压器过负荷，或者检修维护时造成连接松动，甚至使异物进入变压器，都会使变压器发生故障。

（4）异常电压。主要是雷电过电压和内部过电压。过电压的作用时间虽然很短，但是过电压的数值却大大超过了变压器的正常工作电压，因而容易造成变压器绝缘损坏，导致变压器不能正常工作。

（5）绝缘老化。这一方面是由于绝缘材料的自然老化而造成的；另一方面，当变压器过负荷运行或内部出现某些异常（如局部放电、局部过热等）时，将会加速变压器绝缘材料的老化，从而引发故障。

加油站 2——变压器的故障类型

电力变压器的故障种类是多种多样的，按照故障发生的部位，可以大致将变压器故障分为内部故障和外部故障两大类型。内部故障是指变压器油箱内发生的各种故障，外部故障是指变压器油箱外部绝缘套管及其引出线上发生的各种故障，见表 5-10。

表 5-10　电力变压器的故障种类

故障部位	故障类型	
变压器的内部	绕组故障	绝缘击穿、断线、变形等
	铁芯故障	铁芯叠片之间的绝缘损坏，接地、铁芯的穿芯螺栓绝缘击穿
	内部装配金具故障	焊接不良、部件脱落等
	分接开关故障	分接开关接触不良或电弧等
	引线接地故障	引接线对地闪络、断裂等
	绝缘油引起的故障	绝缘油老化等
变压器的外部	油箱故障	焊接质量不好、密封线圈不好等
	附件故障	绝缘套管、各种继电器的故障等
	其他外部装置故障	冷却装置及控制设备的故障等

变压器内部故障从性质上一般又分为热故障和电故障两大类。

（1）热故障通常为变压器内部局部过热、温度升高。根据严重程度，热故障常被分为轻度过热（低于 150℃）、低温过热（150～300℃）、中温过热（300～700℃）、高温过热（一般高

于 700℃）4 种故障情况。

（2）电故障通常指变压器内部在高电场的作用下，造成绝缘性能下降或劣化的故障。根据放电的能量密度不同，电故障又分为局部放电、火花放电和高能电弧放电 3 种故障类型。

加油站 3——变压器故障诊断方法

电力变压器故障的诊断方法较多，可归纳为“看”、“听”、“测”三个方面。

1）看

就是通过观察故障发生时的颜色、湿度、气味等异常现象，由外向内认真检查变压器的每一处。

（1）看渗漏油。变压器运行中渗漏油现象比较普遍，其外面闪闪发光或黏着黑色的液体就可能是漏油。渗漏的主要原因是油箱与零部件连接处密封不良、焊件或铸件存在缺陷、运行中额外荷重或受到振动等。此外，内部故障也会使油温升高，油的体积膨胀，发生漏油。

（2）看体表。变压器故障时都伴随着体表的变化，如防爆膜龟裂、破损。当呼吸口不能正常呼吸时，会使内部压力升高引起防爆膜破损；当气体继电器、压力继电器、差动继电器等动作时，可推测是由内部故障引起的。

吸湿剂变色是由于吸潮过度、垫圈损坏、进入油室的水量太多等原因造成的。当吸湿剂从蓝色变为粉红色时，应进行再生处理。

2）听

变压器正常运行时，由于交流电通过变压器绕组，在铁芯里产生周期性的交变磁通，引起电工钢片的磁致伸缩，铁芯的接缝与叠层之间的磁力作用及绕组导线之间的电磁力作用引起振动，会发出均匀的“嗡嗡”响声。如果产生不均匀响声或其他响声，都属于不正常现象。不同的声响预示着不同的故障现象。

3）测

依据声音、颜色及其他现象对变压器事故的判断，只能作为现场的初步判断，因为变压器的内部故障不仅是单方面的直观反映，它涉及诸多因素，有时甚至出现假象。因此必须进行测量并通过综合分析，才能准确找出故障原因及判明事故性质，提出较完备合理的处理办法。

加油站 4——变压器检修的类别

变压器的计划预修，一般可分为三类。

（1）清扫、预防性试验。

（2）小修。小修的工作范围包括：拆开个别部件，更换部分零件，清洗换油，系统调整等。

（3）大修。检修时需要将变压器全部拆卸解体，更换、修复有缺陷或有隐患的零部件，全面消除各种缺陷，恢复变压器原有的技术性能。

中转站——变压器的小修和大修

1）变压器小修

变压器的小修周期至少两年一次。安装在特别污秽地区的变压器，应缩短检修周期。

变压器小修的项目如下:

（1）清扫套管，检查瓷套有无放电痕迹及破损现象。

（2）检查套管引线的接触螺栓是否松动；接头是否过热。

（3）清扫变压器油箱及储油柜、安全气道、净油器及调压装置等附件。

（4）检查安全气道防爆膜是否完好，清除压力释放阀阀盖内沉积的灰尘等杂物。

（5）检查储油柜油位是否正常，油位计是否完好、明净，并排出集污盆内的油污。补充变压器本体及充油套管的绝缘油，如图 5-2 所示。

（6）检查呼吸器，更换失效变色的干燥剂。

（7）检查散热器有无渗油现象，冷却风扇是否正常。

（8）检查测量上层油温的温度计。

（9）检查气体继电器有无渗油现象，阀门开闭是否灵活、可靠，控制电缆绝缘是否良好。

（10）检查变压器外壳接地线及中性点接地装置。

（11）检查有载分接开关操作控制回路、传动部分及其接点动作情况，并清扫操作箱内部。

（12）从变压器本体、充油套管及净油器内取油样做简化分析，自变压器本体及电容式套管内取油样进行色谱分析。

（13）处理渗、漏油等能就地消除的缺陷。

（14）进行规定项目的电气试验。

2）变压器大修

大修周期根据预防性试验及运行情况确定。一般在投入运行后的 5 年内和以后每隔 10 年大修一次。变压器的大修项目如下:

（1）吊开钟罩或吊出器身检修，如图 5-3 所示。



图 5-2　补充变压器油



图 5-3　变压器吊芯检修

（2）线圈、引线及磁（电）屏蔽装置的检修。

（3）铁芯、铁芯紧固件（穿心螺杆、夹件、拉带、绑带等）、压钉、连接片及接地片的检修。

（4）油箱及附件的检修，包括套管、吸湿器等。

（5）冷却器、油泵、水泵、风扇、阀门及管道等附属设备的检修。

（6）安全保护装置的检修。

（7）油保护装置的检修。

（8）测温装置的校验，瓦斯继电器的校验。

（9）操作控制箱的检修和试验。

（10）无励磁分接开关和有载分接开关的检修。

（11）全部密封胶垫的更换和组件试漏。

（12）必要时对器身绝缘进行干燥处理。

（13）对变压器油进行处理或换油。

（14）清扫油箱并喷涂油漆。

加油站 5——变压器短路故障的危害

短路故障主要指变压器出口短路、内部引线或绕组间对地短路、相与相之间发生的短路而导致的故障。

1）短路电流引起绝缘过热故障

变压器突发短路时，其高、低压绕组可能同时通过为额定值数十倍的短路电流，将产生很大的热量，使变压器严重发热。当变压器承受短路电流的能力不够，热稳定性差时，会使变压器绝缘材料严重受损，从而形成变压器击穿及损毁事故。

2）短路电动力引起绕组变形故障

变压器受短路冲击时，如果短路电流小，继电保护正确动作，绕组变形将是轻微的；如果短路电流大，继电保护延时动作甚至拒动，变形将会很严重，甚至造成绕组损坏。对于轻微的变形，如果不及时检修，恢复垫块位置，紧固绕组的压钉及铁轭的拉板、拉杆，加强引线的夹紧力，在多次短路冲击后，由于累积效应也会使变压器损坏。

加油站 6——变压器放电故障的危害

放电故障对变压器绝缘有两种破坏作用：一种是由于放电质点直接轰击绝缘，使局部绝缘受到破坏并逐步扩大，使绝缘击穿；另一种是放电产生的热、臭氧、氧化氮等活性气体的化学作用，使局部绝缘受到腐蚀，介质损耗增大，最后导致热击穿。

加油站 7——变压器油质劣化的原因

变压器油是电力系统中重要的液体绝缘介质，主要应用于各种变压器中，起绝缘、散热冷却和熄灭电弧的作用。由于运行中受温度、电压、氧气等的影响，油在运行中是要不断劣化的。劣化的变压器油会损坏设备、威胁设备的安全运行，严重者会造成设备事故。

影响变压器油质劣化的主要因素有高温、空气中的氧和潮气水分。

（1）高温会加速变压器油油质劣化速度，当油温在 70℃以上时，每升高 10℃油的氧化速度增加 1.5～2 倍。

（2）变压器油长期和空气中的氧接触，会产生酸、树脂、沉淀物，使绝缘材料严重劣化。

（3）变压器油中进入水分、潮气，电气绝缘性明显下降，易击穿。

指点迷津——不同牌号的变压器油不可混用

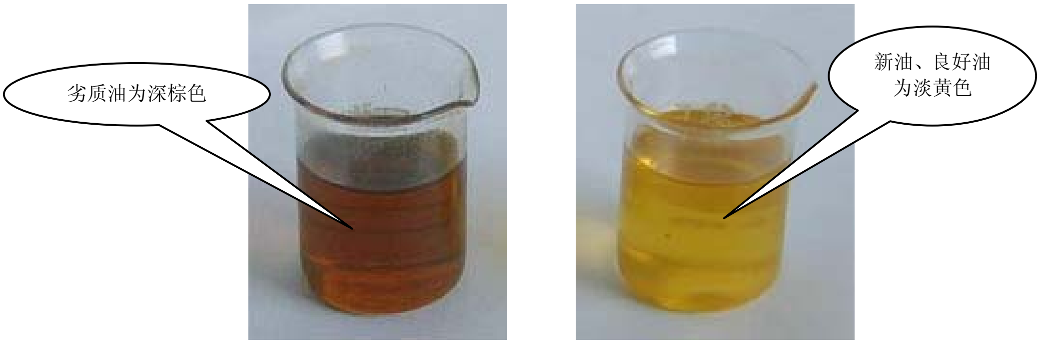
变压器油分为 10#、25#、45#，它们的凝固点分别为−10℃以下、−25℃以下、−45℃以下。一般来说，10#适用于长江以南，25#适用于黄河以南，45#适用于北方寒冷地区。

不同牌号的变压器油通常不能混用，这是因为变压器油的牌号是以凝固点的温度值命名的，不同牌号的变压器油混用后，对油的黏度、闪点、凝固点等都有一定影响，会加速油的老化。

训练场 1——经验法判别变压器油油质的优劣

用经验法可简易判别变压器油油质的优劣程度。

（1）变压器油的颜色。良好的变压器油应该是清洁而透明的液体，不得有沉淀物、机械杂质悬浮物及棉絮状物质。如果其受污染和氧化，并产生树脂和沉淀物，变压器油油质就会劣化，颜色会逐渐变为浅红色，直至变为深褐色的液体。当变压器有故障时，也会使油的颜色发生改变，一般情况下，变压器油呈浅褐色时就不宜再用了。另外，变压器油可表现为浑浊乳状、油色发黑、发暗。变压器油呈浑浊乳状，表明油中含有水分。油色发暗，表明变压器油绝缘老化。油色发黑，甚至有焦臭味，表明变压器内部有故障。变压器油的颜色比较如图 5-4 所示。



（a）劣质油　　（b）新油

图 5-4　变压器油的颜色比较

（2）变压器油的透明度。优质油为透明的；劣质油浑浊，含机械杂质、游离炭等。

（3）变压器油的气味。新油、优质的油无气味或略有火油味；劣质变压器油带有焦味（过热）、酸味、乙炔味（电弧作用过）等其他异味。

中转站——变压器油的处理

对于一般被水和尘埃等杂质污染的变压器油，可以使用板框式压力过滤机，经过多次循环过滤，通常能够达到使用要求。

现在普遍采用的是真空滤油机，它不仅能彻底去除油中的水分和气体，而且能有效去除微小杂质。其工艺流程是：待处理变压器油→粗过滤→精过滤→加热油真空脱水脱气→净油。粗过滤采用金属滤网和强磁铁，精过滤通常过滤 1μm 以下的微小杂质。目前精过滤器的种类很多，有金属粉末烧结材料、金属微孔材料、陶瓷滤材及采用特殊结

构的滤纸滤芯等。

经多年使用过的变压器油，一般为返修产品放出的油（此油的 pH 值已很低），对这种污油必须采用吸附的方法处理才能改善油的指标。通常采用硅胶（SiO_2）或活性氧化铝（Al_2O_3）做吸附剂。

加油站 8——变压器铁芯故障

变压器的主要部件是线圈绕组及铁芯。变压器的铁芯不仅要质量好，而且还必须有可靠的一点接地，这种可靠的一点接地叫铁芯的正常接地。变压器铁芯接地的基本形式有以下几种：通过吊环螺杆接地、通过下节油箱接地、通过接地套管在油箱外部接地。

根据变压器运行规程要求，变压器铁芯正常时需要一点接地且只能一点接地，不允许有两点或多点接地，如果铁芯或其他金属构件有两点或两点以上接地时，则接地点间会形成闭合回路，造成环流，有时高达几十安。

有关资料统计表明，因铁芯问题造成的故障比例占变压器各类故障的第三位。变压器的铁芯接地故障会造成铁芯局部过热，严重时，铁芯局部温升增加，轻瓦斯动作，甚至会造成重瓦斯动作而跳闸的事故。烧熔的局部铁芯片间的短路故障，使铁损变大，严重影响变压器的性能和正常工作，只能更换铁芯硅钢片加以修复。

变压器铁芯出现两点及以上的接地时称为多点接地，变压器铁芯的多点接地主要有以下几种类型。

（1）铁芯叠片因某种原因翘起后，触及夹件支板，形成多点接地。

（2）铁芯下夹件垫脚与铁芯间的绝缘纸板脱落或破损，使垫脚铁轭处叠片相碰，形成多点接地。

（3）油浸变压器油箱盖上的温度计座套过长，与上夹件或铁轭、旁柱边相碰，形成多点接地。

（4）利用潜油泵进行油强迫冷却的大中型变压器，由于潜油泵轴承的磨损，金属粉末进入油箱，积聚在底部，在电磁力作用下，金属粉末形成桥路，使下铁轭与垫脚或油箱底接通，形成多点接地。

（5）铁轭阶梯间的木垫块受潮或表面不干净，附有较多油泥、杂渣，使其绝缘降低，构成多点接地。

（6）油箱中落入金属异物，使铁芯叠片与箱体之间连通，形成多点接地。

训练场 2——变压器铁芯多点接地故障的检测

变压器铁芯多点接地故障，通常可从以下两方面来检测判断。

1）变压器在运行中的检测方法

（1）气相色谱分析判断法。在色谱分析时，若气体中的甲烷及烯烃组分含量较高，而一氧化碳和二氧化碳气体含量与以往相比变化不大，或含量正常，则说明铁芯过热，铁芯过热可能是由于多点接地所致。在色谱分析中，当出现乙炔气体时，说明铁芯已出现间歇性多点接地。

（2）监视接地线中有无环流。可在变压器铁芯外引接地套管的接地引线上，用钳形表测量

引线上是否有电流。变压器铁芯正常接地时，因无电流回路形成，接地线上的电流很小，为毫安级（一般小于 0.3A）。当存在多点接地时，铁芯主磁通周围相当于有短路匝存在，匝内流过环流，其值决定于故障点与正常接地点的相对位置，即短路匝中包围磁通的多少，一般可达几十安培。通过测量接地引线中有无电流，可以准确地判断出铁芯有无多点接地故障。

2）变压器停运后的检测方法

（1）测量铁芯绝缘电阻。变压器停运后，可直接用 1 000V 摇表测量铁芯的绝缘电阻，并通过与原历史数据比较后，判断变压器铁芯是否存在多点接地情况。

（2）直流法测定多点接地故障。变压器在吊开钟罩后，先将铁芯与夹件的连接片打开，在铁轭两侧的硅钢片上施加 6V 的直流电压，接着用直流电压表依次测量各级铁芯叠片之间的电压，当电压的指针指在零位或指针指示反向时，可认定被测处为故障接地点。

（3）交流法测定多点接地故障。在变压器低压侧施加 220～380V 交流电压，使铁芯中产生磁通。打开铁芯与夹件的连接片，用交流毫安表的两接线电笔，沿铁轭各级逐点进行测量，当表中有电流值显示时，说明铁芯接地正常；当表中没有显示（没有读数）时，说明被测处铁芯叠片为接地故障点。

训练场 3——铁芯多点接地故障的应急处理

运行中发现变压器铁芯多点接地故障后，为保证设备的安全，均需停电进行吊芯检查和处理。但对于系统暂不允许停电检查的，可采用在外引铁芯接地回路上串接电阻的临时应急措施，以限制铁芯接地回路的环流，防止故障进一步恶化。

在串接电阻前，分别对铁芯接地回路的环流和开路电压进行测量，然后计算应串电阻阻值。注意所串电阻不宜太大，以保护铁芯基本处于地电位；也不宜太小，以能将环流限制在 0.1A 以下为好。同时还需注意所串电阻的热容量，以防烧坏电阻造成铁芯开路。

变压器停运后，可通过电容放电冲击法排除不稳定的接地点。

训练场 4——铁芯多点接地故障吊罩检修

多点接地无法解决时，必须对变压器安排吊罩检查。变压器吊起罩后，按照以下程序查找故障接地点。

（1）先检查变压器外部铁芯、铁轭及各部分夹件，是否有破损或明显接地的痕迹。

（2）检查各夹件纸板是否有变形、移位、破损或脱落。

（3）清除油箱底部的油泥、油污及金属碎渣，并用变压器油进行冲洗。

（4）检查铁芯叠片有无局部生锈或绝缘漆皮、氧化膜层胶脱落情况，处理好硅钢片片间绝缘层。若硅钢片质量有问题，又无法修复时，必须及时更换。

（5）对于因多点接地造成夹件烧坏或铁芯过热严重而烧毁的，必须按有关标准要求进行更换。

当通过外观检查、处理而未查出铁芯接地点时，在具备条件的情况下，必须对变压器进行解体检修（如图 5-5 所示），要求每进行一步检查都必须测量一次铁芯对地电阻。变压器解体检修的步骤如下。



图 5-5　变压器解体检修

（1）拆除变压器上部铁轭及铁芯夹件。

（2）拆除变压器上部铁芯片并平整放好。

（3）拆除高低压线圈引线、连线、线圈围屏及绝缘件。

（4）拔出变压器三相高低压线圈并放好。

（5）拆除变压器线圈下部的夹件、垫块，检查是否有烧坏现象或绝缘降低。

（6）检查下部铁芯与变压器箱底间有无异物。

（7）彻底清理底部油泥、杂质、金属碎渣等。

（8）检查处理好铁芯接地故障后，按照顺序装复变压器各部件。

指点迷津

变压器解体检修，必须办理工作票，做好施工安全措施。为了减少器身暴露时间，可以在部分排油后拆卸组、部件。经过彻底解体的变压器要进行干燥处理，并严格按照有关试验标准进行试验。

5.3.3　变压器组、部件的检修

训练场 1——散热器的检修

变压器散热器的检修工艺和质量标准见表 5-11。

表 5-11　变压器散热器的检修工艺和质量标准

检 修 工 艺	质 量 标 准
（1）采用气焊或电焊，对渗漏点进行补焊处理	（1）焊点准确，焊接牢固，严禁将焊渣掉入散热器内
（2）对带法兰盖板的上、下油室应打开法兰盖板，清除油室内的焊渣、油垢，然后更换胶垫	（2）上、下油室内部洁净，法兰盖板密封良好
（3）清扫散热器表面，油垢严重时可用金属洗净剂（去污剂）清洗，然后用清水冲净晾干。清洗时管接头应可靠密封，防止进水	（3）表面保持洁净

续表

检 修 工 艺	质 量 标 准
（4）用盖板将接头法兰密封，加油压进行试漏	（4）试漏标准： 片状散热器 0.05～0.1MPa、10h 管状散热器 0.1～0.15MPa、10h
（5）用合格的变压器油对内部进行循环冲洗	（5）内部清洁
（6）重新安装散热器	（6）注意阀门的开闭位置，阀门的安装方向应统一，指示开闭的标志应明显、清晰。注意安装好散热器的拉紧钢带

训练场 2——压油式套管的检修

变压器压油式套管的检修（与本体油连通的附加绝缘套管）见表 5-12。

表 5-12 变压器压油式套管的检修（与本体油连通的附加绝缘套管）

检 修 工 艺	质 量 标 准
（1）检查瓷套有无损坏	（1）瓷套应保持清洁，无放电痕迹，无裂纹，裙边无破损
（2）套管解体时，应依次对角松动法兰螺栓	（2）防止松动法兰时受力不均损坏套管
（3）拆卸瓷套前应先轻轻晃动，使法兰与密封胶垫间产生缝隙后再拆下瓷套	（3）防止瓷套碎裂
（4）拆导电杆和法兰螺栓前，应防止导电杆摇晃损坏瓷套，拆下的螺栓应进行清洗，丝扣损坏的应予以更换或修整	（4）螺栓和垫圈的数量要补齐，不可丢失
（5）取出绝缘筒（包括带覆盖层的导电杆），擦除油垢，绝缘筒及导电杆表面的覆盖层应妥善保管（必要时应干燥）	（5）妥善保管，防止受潮和损坏
（6）检查瓷套内部，并用白布擦拭；在套管外侧根部根据情况喷涂半导体漆	（6）瓷套内部清洁，无油垢，半导体漆喷涂均匀
（7）有条件时，应将拆下的瓷套和绝缘件送入干燥室进行轻度干燥，然后再组装	（7）干燥温度为 70～80℃，时间不少于 4h，升温速度不超过 10℃/h，防止瓷套裂纹
（8）更换新胶垫，位置要放正	（8）胶垫压缩均匀，密封良好
（9）将套管垂直放置于套管架上，组装的顺序时与拆卸顺序相反	（9）注意绝缘筒与导电杆相互之间的位置，中间应有固定圈防止窜动，导电杆应处于瓷套的中心位置

训练场 3——充油套管的检修

变压器充油套管的检修见表 5-13。

表 5-13 变压器充油套管的检修

检 修 工 艺		质 量 标 准
更换套管油	（1）放出套管中的油； （2）用热油（温度为 60～70℃）循环冲洗后放出； （3）注入合格的变压器油	（1）放尽残油； （2）至少循环三次，将残油及其他杂质冲出； （3）油的质量应符合 GB 7665—1987 的规定
套管解体	（1）放出内部的油； （2）拆卸上部接线端子； （3）拆卸油位计上部压盖螺栓，取下油位计； （4）拆卸上瓷套与法兰连接螺栓，轻轻晃动后，取下上瓷套； （5）取出内部绝缘筒； （6）拆卸下瓷套与导电杆连接螺栓，取下导电杆和下瓷套	（1）放尽残油； （2）妥善保管，防止丢失； （3）拆卸时，防止玻璃油位计破损； （4）注意不要碰坏瓷套； （5）垂直放置，不得压坏或变形； （6）分解导电杆底部法兰螺栓时，防止导电杆晃动，损坏瓷套
检修与清扫	（1）所有卸下的零部件均应妥善保管，组装前应擦拭干净；	（1）妥善保管，防止受潮；

续表

检修工艺		质量标准
检修与清扫	（2）绝缘筒应擦拭干净，若绝缘不良，可在70～80℃的温度下干燥24～48h； （3）检查瓷套内、外表面并清扫干净，检查铁瓷结合处的水泥填料有无脱落； （4）为防止油劣化，在玻璃油位计外表涂刷银粉； （5）更换各部法兰胶垫	（2）绝缘筒应洁净，无起层、无漆膜脱落和放电痕迹，绝缘良好； （3）瓷套内、外表面应清洁、无油垢、杂质，瓷质无裂纹，水泥填料无脱落； （4）银粉涂刷应均匀，并沿纵向留一条30mm宽的透明带，以监视油位； （5）胶垫压缩均匀，各部密封良好
套管组装	（1）组装与解体顺序相反； （2）组装后注入合格的变压器油； （3）进行绝缘试验	（1）导电杆应处于瓷套中心位置，瓷套缝隙均匀，防止局部受力使瓷套产生裂纹； （2）油质应符合GB7665—1987的规定； （3）按电力设备预防性试验标准进行

训练场4——无励磁分接开关的检修

无励磁分接开关的检修见表5-14。

表5-14　无励磁分接开关的检修

检修工艺	质量标准
（1）检查开关各部件是否齐全完整	（1）完整无缺损
（2）松开上方头部定位螺栓，转动操作手柄，检查动触头转动是否灵活，若转动不灵活应进一步检查卡滞的原因；检查绕组实际分接是否与上部指示位置一致，若不一致应进行调整	（2）机械转动灵活，转轴密封良好，无卡滞，上部指示位置与下部实际接触位置应相一致
（3）检查动静触头间接触是否良好，触头表面是否清洁，有无氧化变色、镀层脱落及碰伤痕迹，弹簧有无松动，发现氧化膜可用碳化钼和白布带穿入触柱来回擦拭清除；触柱有严重烧损时应更换	（3）触头接触电阻小于500Ω，触头表面应保持光洁，无氧化变质、碰伤及镀层脱落，触头接触压力用弹簧秤测量应在0.25～0.5MPa之间，或用0.02mm塞尺检查应无间隙、接触严密
（4）检查触头分接线是否紧固，发现松动应拧紧、锁住	（4）开关所有紧固件均应拧紧，无松动
（5）检查分接开关绝缘件有无受潮、剥裂或变形，表面是否清洁，发现表面脏污应用无绒毛的白布擦拭干净，绝缘筒有严重剥裂变形时应更换；操作杆拆下后，应放入油中或用塑料布包上	（5）绝缘筒应完好、无破损、剥裂、变形，表面清洁无油垢；操作杆绝缘良好，无弯曲变形
（6）检修分接开关，拆前做好明显的标记	（6）拆装前后指示位置必须一致，各相手柄及传动机构不得互换
（7）检查绝缘操作杆U形拨叉接触是否良好，若有接触不良或放电痕迹应加装弹簧片	（7）使其保持良好接触

训练场5——吸湿器的检修

吸湿器的检修见表5-15。

表5-15　吸湿器的检修

检修工艺	质量标准
（1）将吸湿器从变压器上卸下，倒出内部吸附剂，检查玻璃罩应完好，并进行清扫	（1）玻璃罩清洁完好
（2）将干燥的吸附剂装入吸湿器内，为便于监视吸附剂的工作性能，一般可采用变色硅胶，并在顶盖下面留出1/5～1/6高度的空隙	（2）新装吸附剂应经过干燥，颗粒不小于3mm
（3）失效的吸附剂由蓝色变为粉红色，可置入烘箱干燥，干燥温度从120℃升至160℃，时间为5h；还原后再用	（3）还原后应呈蓝色

续表

检 修 工 艺	质 量 标 准
（4）更换胶垫	（4）胶垫质量符合标准规定
（5）在下部的油封罩内注入变压器油，并将罩拧紧（新装吸湿器，应将密封垫拆除）	（5）加油至正常油位线，能起到呼吸作用
（6）为防止吸湿器摇晃，可用卡具将其固定在变压器油箱上	（6）运行中吸湿器安装牢固，不受变压器振动影响
（7）吸湿器的容量可根据下表选择	

硅胶重（kg）	油重（kg）	H（mm）	H（mm）	ϕD（mm）	玻璃筒（mm）	配储油柜直径（mm）
0.2	0.15	216	100	105	ϕ80/100×100	≤ϕ250
0.5	0.2	216	100	145	ϕ120/140×100	ϕ310
1.0	0.2	266	150	145	ϕ120/140×150	ϕ440
1.5	0.2	336	200	145	ϕ120/140×200	ϕ610
3	0.7	336	220	205	ϕ180/200×220	ϕ800
5	0.7	436	300	205	ϕ180/200×300	ϕ900

训练场 6——安全气道的检修

安全气道的检修见表 5-16。

表 5-16　安全气道的检修

检 修 工 艺	质 量 标 准
（1）放油后将安全气道拆下进行清扫，去掉内部的锈蚀和油垢，并更换密封胶垫	（1）检修后进行密封试验，注满合格的变压器油，并倒立静置 4h 不渗漏
（2）内壁装有隔板，其下部装有小型放水阀门	（2）隔板焊接良好，无渗漏现象
（3）上部防爆膜片应安装良好，均匀地拧紧法兰螺栓，防止膜片破损	（3）防爆膜片应采用玻璃片，禁止使用薄金属片，玻璃片厚度可参照下表选择
（4）安全气道与储油柜间应有联管或加装吸湿器，以防止由于温度变化引起防爆膜片破裂，对于胶囊密封式储油柜，防止由吸湿器向外冒油	（4）联管无堵塞；接头密封良好
（5）安全气道内壁刷绝缘漆	（5）内壁无锈蚀，绝缘漆涂刷均匀有光泽

管径（mm）	ϕ150	ϕ200	ϕ250
玻璃片厚度（mm）	2.5	3	4

训练场 7——阀门及塞子的检修

阀门及塞子的检修见表 5-17。

表 5-17　阀门及塞子的检修

检 修 工 艺	质 量 标 准
（1）检查阀门的转轴、挡板等部件是否完整、灵活和严密，更换密封垫圈，必要时更换零件	（1）经 0.05MPa 油压试验，挡板关闭严密、无渗漏，轴杆密封良好，指示开、闭位置的标志清晰、正确
（2）阀门应拆下分解检修，研磨接触面，更换密封填料，缺损的零件应配齐，对有严重缺陷无法处理的应更换	（2）阀门检修后应做 0.15MPa 压力试验不漏油
（3）对变压器本体和附件各部的放油（气）塞、油样阀门等进行全面检查，并更换密封胶垫，检查丝扣是否完好，有损坏而又无法修理的应更换	（3）各密封面无渗漏

中转站——变压器的干燥法

变压器干燥的目的是除去变压器绝缘材料中的水分，增加其绝缘电阻，提高其闪络电压。电压在 3kV 以上的变压器都必须进行干燥处理。下面介绍几种常用的干燥方法。

1）感应加热法

将器身放在原来的油箱中，油箱外缠绕线圈通过电流，利用箱皮的涡流发热来干燥。此时箱壁温度不超过 115～120℃，器身温度应不超过 90～95℃。为了缠绕线圈的方便，选用 35～50mm^2 的导线，尽可能使线圈的匝数少些或电流小一些（一般电流选 150A 左右）。油箱壁上可垫石棉条多根，导线绕在石棉条板上。感应加热需要的电力，根据变压器的类型及干燥条件决定。

2）热风干燥法

将变压器放在干燥室中，通入热风进行干燥。干燥室可依据变压器器身大小用壁板搭合，壁板内满铺石棉板或其他浸渍过防火溶液的帆布或石棉麻布。干燥室应尽可能小，壁板与变压器之间的间距不应大于 200mm。可用电炉、蒸汽蛇形管来加热。

干燥时进口热风温度应逐渐上升，最高温度不应超过 95℃，在热风进口处应装过滤器或金属栅网以消灭火星、灰尘。热风不应直接吹向器身，而是从器身下面均匀地吹向各部，使潮气通过箱中通风孔放出。

3）气相真空干燥法

这种干燥方法是用一种特殊的煤油蒸气作为载热体，导入真空罐的煤油蒸气在变压器器身上冷凝并释放出大量热能，从而对被干燥器身进行加热。由于煤油蒸气热能大（煤油气化热为 306×10^3J/kg），故使变压器器身干燥加热更彻底，更均匀，效率很高，并且对绝缘材料的损伤度也很小。但由于其结构较复杂，造价较高，通常只限于在 110kV 及以上的大型变压器器身干燥处理中应用。

5.3.4 干式变压器的检修

加油站 1——干式变压器的结构

相对于油式变压器，干式变压器因没有油，也就没有火灾、爆炸、污染等问题，故电气规范、规程等均不要求干式变压器置于单独房间内。特别是新的系列，损耗和噪声降到了新的水平，更为变压器与低压屏置于同一配电室内创造了条件。

干式变压器由铁芯和绕组两大部分组成，此外还有风机和温度控制器等附件，如图 5-6 所示。

1）铁芯

铁芯的作用是构成磁路，铁芯用硅钢片叠装而成，并且硅钢片间彼此绝缘，以阻止涡流在片间流通。

2）绕组

绕组（或线圈）是变压器的电路部分，电力变压器的绕组都做成圆筒形，按照高低绕组相互位置的不同，可分为同芯式绕组和交叠式绕组。

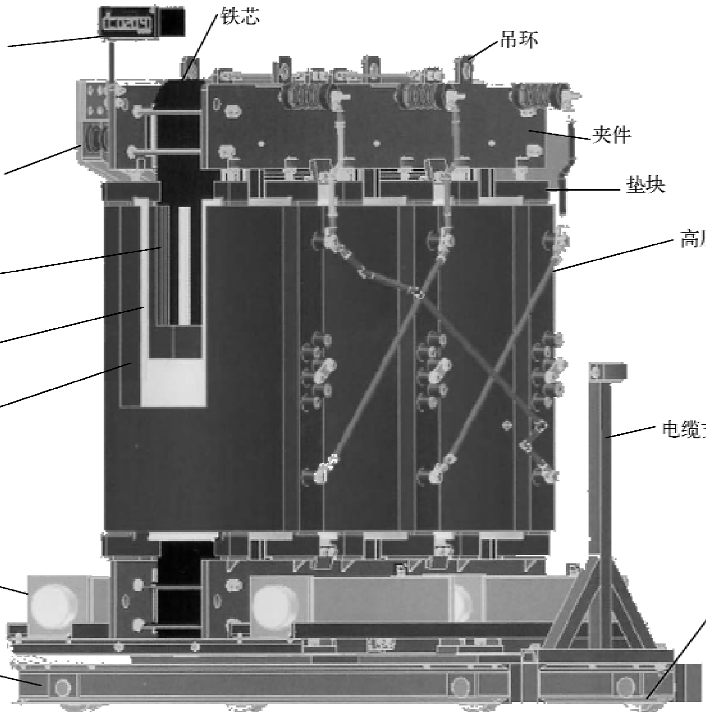


图 5-6 干式变压器的结构

3）风机

风机的作用是降低绕组的温度。

4）温度控制器

温度控制器由温控器和测温传感器构成。测温传感器安装于变压器低压铜排的测温点内，温控器根据测温传感器测得的温度，启动或停止风机运行。

中转站——干式变压器运行前的检查

（1）检查所有紧固件、连接件及线圈垫块是否松动，若发现松动应重新紧固。

（2）检查运输时拆除的附件是否已安装好，并检查变压器内部是否有异物存在。特别要注意高、低压线圈之间气道内有无金属物存在。

（3）检查风机、温控器及其他辅助设备是否正常。

（4）拆除接地片（用 1 000V 摇表试验）检查铁芯对地绝缘是否良好。

（5）检查变压器及铁芯是否已可靠接地，检查穿芯螺杆对地绝缘是否良好。

（6）测量高、低压线圈直流电阻，确定各电气连接件接触良好，位置正确。

（7）检查线圈对地绝缘电阻，确定变压器三相电压调节连片在相同的正确位置。

（8）检查温控器的测温传感器是否已可靠插入低压侧铜排的测温点内。

（9）确定风机和温控器接线正确，并启动检查，显示正常运行。

（10）检查高、低压进出线电缆和本体控制电缆与线圈距离是否符合要求，10kV 大于 125mm。

加油站 2——干式变压器的运行维护

自变压器投入运行之后即进入运行维护阶段。运行记录是保障设备良好运行必不可少的，内容一般包括三相绕组的温度、环境温度、异常响声、风机状况等。除此以外，还应重点做好以下几方面的定期维护工作。

1）日常巡视检查

巡视检查是保障变压器安全运行的基础性工作，绝不可敷衍，作为一级负荷用户，尤其是一级特别重要负荷用户更应如此。变（配）电所内部的变压器，每小时巡视一次，夜间负荷较轻可以每两小时一次；对于无人值守的变电所的变压器，每班次（8 小时工作制）不少于 2 次，在认真做好运行记录的基础上还应注意观察有无漏雨、进水及变压器室的门窗状况等。遇有下列情况时应对变压器增加巡视检查次数：新装或经过检修、改造的变压器投入运行在 72h 内，停运时间超过半年以上再次投运的变压器，雷雨、浓雾、大风、暴雪等异常天气，高温季节、负荷高峰时段，过负荷运行。值得注意的是，在使用条件中规定的温度值是变压器正常的运行条件。

2）做好设备除尘

定期除尘对干式变压器的良好运行有着至关重要的作用。运行中的变压器积尘量过多，不仅降低变压器的工作效率，还有可能导致变压器绝缘降低，甚至造成绝缘击穿。因此，每年至少应进行 1～2 次全面清理。首先用吸尘器或干布清洁变压器构件、绝缘子、分接引线等的表面尘土，再用手提吹风机或干燥压缩空气（氮气也可）把内部风道的积尘吹出，同时人工启动变压器自身冷却风机，这样既能检验强迫风冷设备，也能清理风道内的尘土，保持变压器良好的散热环境。

3）检查温控设备的运行状态

电力变压器的绕组温度超过其绝缘耐受温度，是导致变压器不能正常工作的主要原因之一。因此，不仅要做好变压器的温度记录，注意观察变压器的温升变化，而且要每个季度检查一次温控设备，防止温控设备故障导致误动作或异常指示影响设备安全运行，目前简便可行的工具首选红外测温仪。

4）做好去潮除湿，保持环境干燥

环境潮湿受自然气候制约，特别是到了夏天的雷雨季节，环境潮湿既不利于变压器本体散热，又容易破坏绕组的绝缘能力，用 2 500V 摇表可以简单判断绝缘强度的高低。在潮湿、多雨季节来临后，除了加强巡视预防漏雨、进水发生外，采取一定的技术措施是必要的。如安装进排风系统，定期检查、定时开启循环风，定期打开变电室的门窗进行通风，以保持变压器周围适当的湿度和温度。

5）定期检修，确保接点紧固、连接可靠

随着负载调整、季节变化，负载损耗使得变压器温升变化剧烈，各部位连接点不可避免地发生应力变化、紧固件及连接点出现松动等现象。这些部位一旦松动后不能及时紧固，就有可能产生振动、发热，巡检不到位有可能造成过热现象，将严重影响运行安全。因此，每年在春、冬季节安排两次停电检修是非常必要的。检查的主要项目如下：

（1）二次绕组线路连接是否紧固。

（2）一次绕组分接头连接是否紧固。

（3）铁芯轭铁的夹紧螺栓是否紧固，是否有退火现象。

（4）软连接螺栓、接地端子是否紧固。

（5）绝缘子有无龟裂、放电痕迹。



训练场——干式变压器常见故障检修

干式变压器常见故障的检修方法见表 5-18。

表 5-18　干式变压器常见故障的检修方法

故　　障	异 常 现 象	检 修 方 法
温控器工作异常	无任何显示	检查温控器电源
		更换同型号保险管
	故障灯亮，温度显示“1”或“-1”	检查传感器是否与温控器连接正确、牢固
		更换传感器
	各相温度低于设定温度，风机仍运行	温度低于设定温度，冷却风机定期启动一段时间后停止，属正常工作（温控器定期对冷却风机进行测试）
	三相温度显示相差较多	将传感器插入测温孔固定好
		均衡三相负荷
冷却风机工作异常	冷却风机不启动	检查冷却风机电源
	冷却风机有异响	检查冷却风机内是否有异物
		检查冷却风机是否受外力破坏变形或损坏
变压器运行异常	变压器温度过高（>100℃）	检查温控器、冷却风机运行是否正常
		变压器是否长期过负荷运行
	输出电压过高或过低	将高压侧调压位置做相应调整

第 6 章　电动机故障检修

6.1　单相电动机故障检修

6.1.1　单相异步电动机典型故障的检修

加油站 1——单相异步电动机的故障类型

单相异步电动机广泛应用于家用电器、电动工具、医疗器械、农用机械等领域，特别是家用电器中常见的洗衣机、电风扇、空调、暖风机、抽油烟机等，其动力源均为单相电动机。单相异步电动机的故障有电气故障和机械故障两类。

（1）电气故障：主要有定子绕组断路、定子绕组接地、定子绕组绝缘不良、定子绕组匝间短路、分相电容器损坏、转子笼型绕组断条等故障。

（2）机械故障：主要有轴承损坏、润滑不良、转轴与轴承配合不好、安装位置不正确、风叶损坏或变形等。

加油站 2——单相异步电动机的检修思路

检修时应根据故障现象，分析产生故障的可能原因，并通过检查、分析和判断，找出故障，迅速修复。

电动机出现了故障，首先要了解其型号、结构、使用情况，旧的电动机还要了解是否修过、修理前后的情况等；同时还要注意观察或询问故障现象，如启动情况、运行情况，有无振动、噪声、发热、冒烟、焦臭气味等异常现象。通过观察了解，从故障的主要现象入手，初步确定可能产生故障的原因。如果原因很多，一时难以肯定，可再结合故障的一些次要现象，进行全面的分析或必要的测试，以缩小范围。

由于单相异步电动机有其特殊点，故检修时，除可采用类似三相异步电动机的方法外，还要注意不同之处，如启动装置故障、辅助绕组故障、电容故障及气隙过小引起的故障等。

根据单相异步电动机的结构和工作原理，单相绕组由于建立的是脉振磁场，电动机没有启动转矩，需要增加辅助绕组（有分相式和罩极式），以帮助电动机启动或运行，当单相异步电动机的辅助回路出现故障时，就可能出现不能启动、转向不定、转速偏低等现象。可见，立足原理分析的检修，是十分有效的方法。

训练场 1——单相异步电动机常见故障排除

单相异步电动机常见故障及排除方法见表 6-1。

表 6-1 单相异步电动机常见故障及排除方法

故 障 现 象		故 障 原 因	排 除 方 法	检查顺序或要点
通电后电动机不能启动	没有“嗡嗡”声	（1）电源断线或进线线头松动； （2）主绕组内断路； （3）主绕组短路或过热烧毁	（1）检查电源并恢复供电或接牢线头； （2）用万用表或试灯找出断点，予以局部修理或更换绕组； （3）查找短路点，局部修理或更换绕组	先检查熔丝，确定有无电源，再查找绕组故障
	电动机发出“嗡嗡”声，用外力推动后可正常旋转	（1）辅助绕组内断路； （2）离心开关损坏或触点毛糙，引起接触不良； （3）电流型启动继电器线圈断路或触点接触不良； （4）PTC 启动继电器损坏而断路； （5）电容失效、断路或容量减小太多； （6）罩极式电动机短路环断开或脱焊	（1）用万用表或试灯找出断路点，进行局部修理或更换绕组； （2）检查离心开关，若不灵活予以调整，若触点接触面粗糙予以磨光，不能修复时要更换； （3）用万用表确定故障，修理线圈或触点，或更换线圈； （4）万用表测量确定故障后，予以更换； （5）更换电容； （6）焊接或更换短路环	接通电源后，用外力推动看是否可正常旋转是判断该类型故障的关键，用代换法或万用表测量电容器； 确认电容器有无故障是检修时的切入点
	电动机发出“嗡嗡”声，外力不能使之旋转	（1）电动机过载； （2）轴承故障： ① 轴承损坏； ② 轴承内有杂物； ③ 润滑脂干涸； ④ 轴承装配不良。 （3）端盖装配不良； （4）定子、转子铁芯相擦： ① 轴承严重磨损； ② 转轴弯曲； ③ 铁芯冲片变形有突出。 （5）笼型转子断条； （6）主绕组接线错误	（1）测电动机的电流，判断所带负载是否正常，若过载则减小负载或换上较大容量的电动机； （2）检修轴承： ① 更换轴承； ② 清洗轴承，换上新的润滑脂，润滑脂充填量应不超过轴承室容积的 70%； ③ 清洗和更换润滑脂； ④ 重新装配，调整同轴使之转动灵活。 （3）重新调整装配端盖，予以校正； （4）检修定子、转子铁芯： ① 更换轴承； ② 检测转轴，若弯曲予以校正； ③ 检查铁芯冲片，锉去铁芯冲片突出部分。 （5）检查并修理转子； （6）检查并重新接线	接通电源后，用外力推动看是否可正常旋转是判断该类型故障的关键，从简单原因入手，按照“先外部后内部”的修理思路，先检查电动机是否过载、主绕组接线是否有误、端盖是否装配到位等外部原因，再检查电动机内部的故障，如铁芯、定子、转子等故障
	电动机转速低于正常转速	（1）电动机过载运行； （2）电源电压偏低； （3）启动装置故障，启动后辅助绕组没有脱离电源； （4）电容损坏（击穿、断路或容量减小）； （5）主绕组短路或部分接线错误； （6）轴承损坏或缺油等造成摩擦阻力加大； （7）笼型转子断条，造成负载能力下降	（1）检测负载电流，判断负载大小，减轻负载； （2）查明原因，提高电源电压； （3）检查启动装置是否失灵，触点是否粘连，并予以修理或更换； （4）更换电容； （5）检查、修理或更换绕组； （6）清洗、更换润滑脂，或更换轴承； （7）查找断条处，并予以修理	先检查负载和电源电压，然后检查电容器、测量绕组的电阻值，最后检查转子和轴承的故障

续表

故障现象		故障原因	排除方法	检查顺序或要点
电动机过热	启动后很快发热	（1）电源电压过高或过低； （2）启动装置故障，启动后辅助绕组没有脱离电源； （3）主、辅绕组接错，将辅助绕组当作主绕组接入电源； （4）负载选择不当，过大或过小； （5）主绕组短路或接地； （6）主、辅绕组间短路	（1）查明原因，调整电源电压大小； （2）检查启动装置，修理或更换启动装置； （3）检查并重新接线； （4）过载时减轻负载，电容运转电动机空载运行时发热属正常现象，可增大负载； （5）查找短路点或接地点，局部修复或更换绕组； （6）查找短路点，局部修复或更换绕组	先测量电压是否正常、检查负载是否匹配、绕组接线有无错误，然后检查启动装置有无故障，最后检查绕组故障
	运行中温升过高	（1）电源电压过高或过低； （2）电动机过载运行； （3）主绕组匝间短路； （4）轴承缺油或损坏； （5）定子、转子铁芯相擦； （6）绕组重绕时，绕组匝数或导线截面搞错； （7）转子断笼	（1）查明原因，调整电源电压大小； （2）减轻负载； （3）修理主绕组； （4）清洗轴承并加润滑脂，或更换轴承； （5）查明原因，予以修复； （6）查明原因更换绕组； （7）查找断裂处并予以修复	先测量电压是否正常、电动机是否过载，再检查绕组故障，最后检查定子、转子的故障
	运行中冒烟，发出焦糊味	（1）绕组短路烧毁； （2）绝缘受潮严重，通电后绝缘击穿烧毁； （3）绝缘老化造成短路烧毁	检查短路点和绝缘状况，根据检查结果局部或全部更换绕组	用兆欧表测量电动机的绝缘电阻是否正常，再检查绕组故障
	轴承端盖部分很热	（1）轴承内润滑脂干涸； （2）轴承内有杂物或损坏； （3）轴承装配不当，转子转动不灵活	（1）清洗、更换润滑脂； （2）清洗或更换轴承； （3）重新装配、调整，用木锤轻敲端盖，按对角顺序拧紧端盖螺栓，同时不断试转转轴，察看是否灵活，直至螺栓全部拧紧	先用手检查转子转动是否灵活，若不灵活重新装配或调整轴承端盖，顺便检查轴承有无杂物或损坏
电动机运行中振动或噪声大		（1）转轴弯曲等引起不平衡； （2）轴承磨损、缺油或损坏； （3）绕组短路或接地； （4）转子绕组断笼，造成不平衡； （5）电动机端盖松动； （6）定子、转子铁芯相擦； （7）转子轴向窜动量过大； （8）冷却风扇松动，或风扇叶片与风罩相擦	（1）查明原因，予以校正； （2）清洗和更换润滑脂或更换轴承； （3）查找故障点，予以修复； （4）查找断裂处，予以修理； （5）拧紧端盖紧固螺栓； （6）检查并予以修理； （7）轴向游隙应小于 0.4mm，过大应加垫片调整； （8）调整并固定	判断振动是机械方面引起的还是电气方面引起的，是快速检修该故障的前提条件。其方法是：接通电源，电动机发生振动，切断电源，电动机仍发生振动，为机械故障；若接通电源电动机振动，切断电源振动消失，为电气故障



训练场 2——离心式开关的检修

离心开关主要用于控制单相电动机的启动线圈。离心开关由绕电动机轴转动的离心机构和

具有电接触装置的固定开关（用于控制启动线圈）两部分构成。常用离心开关如图 6-1 所示，其故障主要有开路、短路、接地。离心开关常见故障检修见表 6-2。

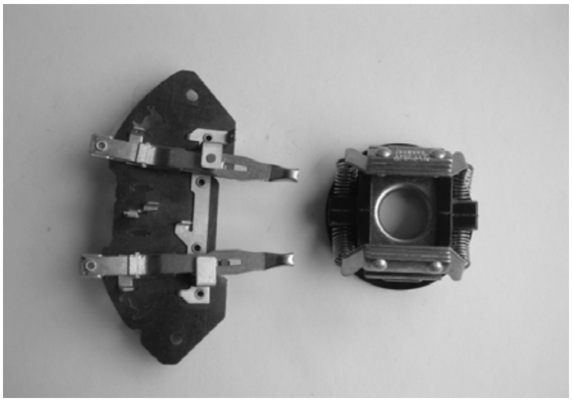


图 6-1　离心开关

表 6-2　离心开关常见故障检修

故障现象	故障原因		检查方法
电动机无法启动	离心开关开路	（1）弹簧失效，无足够的张力使触头闭合； （2）机械机构卡死； （3）触头烧坏脱落； （4）触头簧片过热失效； （5）接线螺钉松脱或线头断开； （6）动、静触头间有杂物、油垢，使其接触不良 （7）触头绝缘板断裂，使触头不能闭合	开路故障的电阻检查法：用万用表测量辅绕组引出线头，这时可测到约几百欧的辅绕组电阻；若阻值很大，说明启动回路有断路故障。若进一步检查，需拆开电动机，直接测量辅绕组电阻。如果正常则说明是离心开关故障，然后按上述原因逐项检查处理；若构件磨损严重则予以更换
电动机辅绕组过热烧坏	离心开关短路	（1）弹簧过硬，使电动机达到预定转速时仍不能断开辅绕组电源； （2）机械构件磨损、变形，导致触头不能断开辅绕组电源； （3）簧片式离心开关的簧片过热失效； （4）动、静触头烧熔粘结； （5）甩臂式离心开关的铜环极间绝缘击穿	触头失灵后断不开的检查法：电容分相或辅绕组引线外接的分相电动机，可在辅绕组回路中串入电流表，运行时仍有电流则说明触头失灵未断开，应拆开检查原因并进行处理。 由于电动机的启动电流较大，通断时开关触点间产生的火花容易烧坏开关触点，使触点接触不良或粘连在一起。维修时拆开电动机，将离心开关的铜触片或触点用什锦锉锉平、用金相砂纸或油石磨光，或予以更换

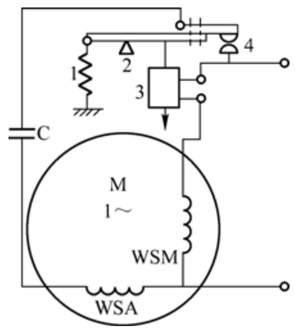
指点迷津

离心开关因生锈或脏污造成触点接触不实时，可用细砂布打磨，最后用粗布擦拭，使触头的接触良好。

如果离心开关旋转部分对静止部分弹簧失效或压力不足，使触点不能良好闭合，可用更换新弹簧或在轴向方向加垫，取消一部分端盖侧的垫圈等方法，使触点能够在工作时闭合良好。

训练场 3——电流型启动继电器的检修

电流型启动继电器属于动合触头式电磁元件，其接线原理如图 6-2 所示。触头与电动机辅绕组串联，继电器电流线圈与主绕组串联，接通电源瞬间，强大的启动电流通过线圈，继电器铁芯产生足够大的电磁力，使触头闭合的同时接通辅绕组电源，使电动机启动。随着转速上升电流减小，当电流减小到一定值时，电流线圈产生的电磁吸力将不足以克服弹簧张力而释放，触头断开，辅绕组脱离电源，电动机进入正常运行状态。



WSM—电动机主绕组；WSA—电动机辅绕组；C—电容器

1—弹簧；2—支承点；3—继电器电流线圈及衔铁；4—动合触头

图 6-2　电流型启动继电器接线原理图

电流型启动继电器的常见故障检修见表 6-3。

表 6-3　电流型启动继电器的常见故障检修

故障现象	故障原因		检　　修
动作不能准确完成，导致电动机不能启动或烧毁绕组	工作失灵	（1）弹簧张力失效。电动机达到规定转速后，其触头不能断开，使电动机辅绕组长时间通电而发热烧坏。 （2）弹簧调整过硬。触头易跳火，甚至不闭合，造成电动机辅绕组无电而不能启动。 （3）电动机绕组重绕参数改变。单相电动机启动继电器的工作特性是根据电动机启动特性调整的，若重绕修理的绕组参数（如匝数、线径、电压等）改变后，将与原继电器不匹配，容易引起工作失灵。 （4）继电器参数改变。当继电器线圈重绕参数改变后，也会产生上述现象而造成工作失灵	（1）调整或更换弹簧装置。 （2）重新更换与其匹配的启动继电器
触头开路（脱落）或短路（粘结），使电动机不能启动或发热烧毁	触头烧坏	（1）弹簧调节不当。弹簧张力调整过大或过小，都可能使触头跳火而造成烧蚀或粘结。 （2）电动机绕组故障。辅绕组短路会导致产生大电流，引起触头载流能力不足而损坏。 （3）触头接地。触头座绝缘损坏发生接地短路，也会烧坏触头	更换触头
线圈故障		（1）匝间短路。线圈制造质量不良，或使用中受潮，容易引起线圈匝间短路故障。 （2）绕组故障。电动机主绕组发生严重短路，其强大的短路电流可能导致继电器电流线圈烧毁	更换线圈

指点迷津——离心式开关和启动继电器的应急维修

离心式开关和电流型启动继电器一旦损坏，当买不到相同规格的产品时，可用按钮开关代替。将按钮开关与副绕组串联后，串接于主绕组的电源端，通过此按钮开关通断副绕组的电源。电动机启动时，按下该按钮开关，接通副绕组电源，电动机启动运转达到 70％～80％额定转速时，松开按钮开关，切断副绕组电源，使主绕组单独运行。

训练场 4——PTC 启动继电器的检修

PTC 启动继电器如图 6-3 所示。在正常情况下，其低阻时的阻值为几欧至几十欧，而高阻时的阻值可达几十千欧。

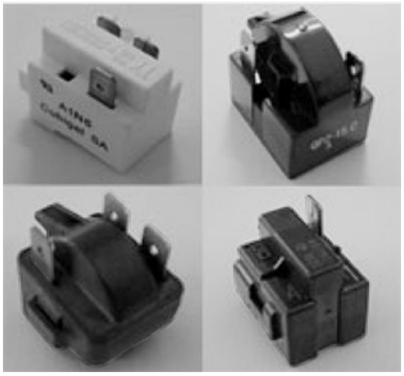


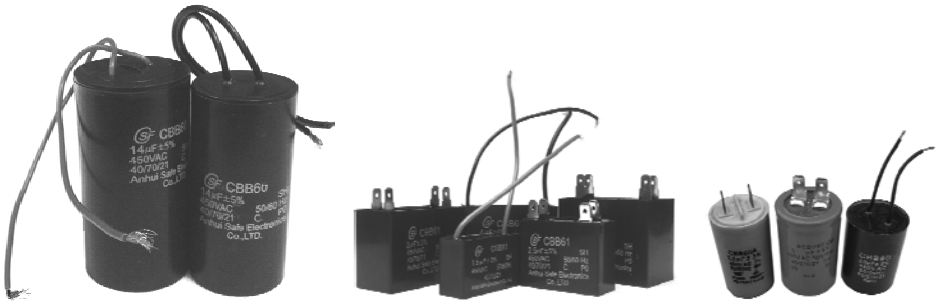
图 6-3　PTC 启动继电器

常温下，如果测得此 PTC 启动继电器的阻值较大，则表明已损坏，应予以更换。

中转站——分相电容器故障检修

采用电容器进行分相的单相电容启动、电容运转和双值电容异步电动机，电容器对电动机的启动或运转起着很重要的作用。

单相电动机常用电容器的外形如图 6-4 所示。



（a）洗衣机电容器　（b）电风扇电容器　（c）电冰箱电容器

图 6-4　单相电动机常用电容器

因为电容器不良引起的单相异步电动机故障现象如下：电容器断路，电动机无法启动；电容器的容量变小太多，电动机运行时转速下降；电容器短路，有可能引起启动绕组故障，致使电动机无法启动。

导致电容器故障主要有以下几个方面的原因。

（1）电容经过长期使用，引出线线头断开。

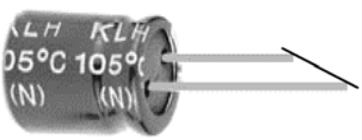
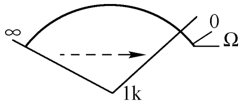
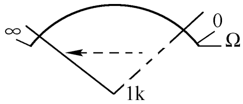
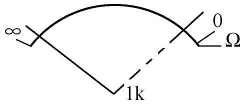
（2）由于长期存放、保管不善而受潮腐蚀，使引线霉烂，造成引出线接触不良或断线，辅助绕组电路不通，电动机无法启动。

（3）电解电容或复合介质金属化电容的容量逐渐变小（自然失效），电动机的启动转矩小，导致启动困难，甚至不能启动，此时拨动电动机转子，电动机可按拨动方向转动。

（4）电动机长期运行于过高电压下，电容的绝缘介质击穿而短路。短路的电容接在辅助绕组中，会使回路的电流过大，造成辅助绕组过热或烧毁。

检修时，对怀疑有故障的电容，用螺丝刀或导线短接电容的两个接线端进行放电，然后将其拆下。将万用表置 R×1k 挡，两表笔接电容的两个接线端。指针式万用表检测有极性电容器的方法见表 6-4。

表 6-4　指针式万用表检测有极性电容器的方法

接线示意图	表头指针指示	说　明
	不接万用表	检测前，先将电容器两引脚短接，以放掉电容内残余的电荷
有极性（电解）电容器质量检测 		黑表笔接电容器的正极，红表笔接电容器的负极，指针迅速向右偏转，而且电容量越大，偏转角度越大，若指针没有偏转，说明电容器开路失效
		指针到达最右端之后，开始向左偏转，先快后慢，表头指针向左偏到接近电阻无穷大处，说明电容器质量良好。指针指示的电阻值为漏电阻值。如果指示的值不是无穷大，说明电容器质量有问题。若阻值为零，说明电容器已经击穿
电解电容器极性判断 		若电解电容器的正、负极性标注不清楚，用万用表 R×1k 挡可以将电容器正、负极性判定出来。方法是先任意测量漏电电阻，记住大小，然后交换表笔再测一次，比较两次测量的漏电电阻的大小，漏电电阻大的那一次黑表笔接的就是电容器的正极，红表笔所接为负极

通过测量，若电容器有击穿短路、开路、严重泄漏或接地等故障，应予以更换。

指点迷津——交流放电法检查电容器质量及好坏

将电容器的两接线短时间（1 ~ 2s）直接接触单相交流电源，然后立即脱离电源。注意通电时间应尽量短，若超过 4s 可能烧坏电容器。然后用螺丝刀或导线（不可用手碰，以免危险）将电容器的两接线短接，如果有放电火花，说明电容器良好。电容器容量越大，放电火花越强烈。如果没有放电火花，说明电容器已损坏或容量明显减小，应予以更换

6.1.2 单相电动机绕组故障的检修

加油站 1——绕组断路故障检查方法

1）试灯检查法

将试灯两端接到绕组的两端头上，如果绕组断路，电路不通，则试灯不亮。查出绕组有断路后，再进一步查找哪个线圈有断路。为此，可将试灯两端分别连接在每极或每个线圈的两端，根据试灯的亮与不亮，便可确定出哪个线圈有断路。对于副绕组的开路故障检查，由于副绕组与启动元件连接，如离心开关、电容器等，所以，副绕组的断路点除绕组本身外，还应包括这些附加元件的触点断路故障在内。离心开关的触点常因磨损、生锈、弹簧压力不足等原因而造成接触不实，电容器则由于焊接不牢、松脱等原因而断开。采用试灯检查时，要分别将试灯接在这些元件的两端检查。检查电容器时，将试灯的两端线接在电容器两端线端，灯不亮，则表明电容器断路。

2）万用表检查法

用万用表测试绕组断路处时，应先将电动机绕组端部的捆扎线拆掉，找出主绕组和副绕组各线圈之间的过渡线并剪断，依次用万用表检查每个线圈是否断路。

将万用表拨至欧姆挡，将其一支表笔接在绕组的公共引出线上，另一支表笔接在主绕组或副绕组的引出线上。当测得的电阻值为无穷大时，说明绕组存在断路。

中转站——绕组断路的原因

（1）引线接头焊接不良，运行时过热烧断。

（2）引线绝缘磨损以致短路，进而烧断引线。

（3）制造和修理工艺不良，导线经多次弯折受损，电动机运行后，导线因振动或过热而断开。

（4）绕组受到外界碰撞或振动，导线被折断。

（5）其他原因，如绕组接地、短路等烧断导线，造成断路故障。

训练场 1——绕组断路故障的修复

（1）当引出线接头焊接不牢或引出线被扭断，造成断路故障时，可先重新焊接上，然后通

过包扎绝缘而修复。

（2）断路点在线圈端部表面时，可先将断路点处的导线撬开，然后进行焊接，焊好后包扎绝缘，进行涂漆处理。

（3）断路发生在槽内时，应设法将线圈取出后再进行修复处理。如果无法处理，可更换该线圈组。

加油站 2——绕组短路的故障原因

电动机绕组有短路故障，会导致电动机转速下降，电流增大，电动机严重发热，甚至将绕组烧毁。产生电动机绕组短路主要有以下几个原因。

（1）电动机受潮严重，绕组绝缘性能降低，或绕组导线绝缘被破坏，未经烘干便接通电源投入运行，引起导线间的绝缘被击穿，造成绕组短路。

（2）电动机绝缘处理不当，绕组匝间混入杂质。

（3）嵌线工艺不当，整形时线圈绝缘被损伤。

（4）导线材质不良，导线外包绝缘有损伤。

（5）槽满率过高，嵌线时硬砸导线，使漆膜损伤。

加油站 3——绕组短路点检查方法

1）外观检查法

拆下电动机端盖，拿出转子，观察定子绕组是否有发黑的烧焦点。如果有发黑的烧焦点，说明此处就是绕组短路点。如果短路点不易发现，可用测绝缘的摇表逐个绕组进行摇测。

2）发热检查法

先给电动机施加额定电压，空转 1min 左右即停机，拆开电动机端盖，抽出转子，然后用手摸或用点温计探测线圈表面。短路线圈的温度要比完好处的温度高，据此便可判别出故障线圈。

3）短路探测器检查法

检查时定子绕组不接电源，把探测器的开口部分放在被检查的定子铁芯槽口上，如图 6-5 所示。将短路探测器线圈的两端接到单相交流电源上（最好用低压电源）。这样，短路探测器的线圈与图上槽中的线圈组成变压器的原、副绕组（图上的磁力线就是此变压器中的磁通），当线圈中不存在匝间短路时，相当于一个空载变压器，电流表的读数较小；如果线圈中有匝间短路，就相当于一个短路变压器，电流表上的读数会增大，被测线圈的另一条有效边所处的槽上，由短路线圈产生了磁通，就会经过钢片形成回路，把钢片吸附在定子铁芯上，并发出“吱吱”的响声。将短路探测器沿定子铁芯逐槽移动检查，即可检查出短路线圈。

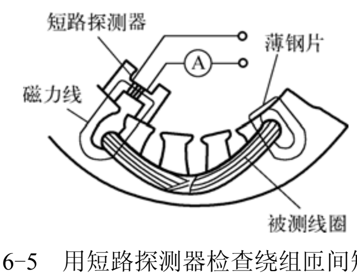


图 6-5　用短路探测器检查绕组匝间短路

4）比较法

测量绕组的电阻，与正常值比较，偏小者为短路绕组；测量绕组的电流，与正常值比较，

偏大者为短路绕组。

5）电压降法

绕组内通入单相低压交流电，再用电压表测量每组线圈或每个线圈的电压降，电压明显降低的线圈就是短路故障线圈。

训练场 2——绕组短路故障的修复

修复时，应根据短路绕组的烧毁程度来决定是更换部分导线还是更换整个绕组，或者是给电动机重新嵌线。

（1）线圈端部的相邻线匝短路时，可先将短路点用竹板分开，然后在分开处插入绝缘纸板隔开，将短路部分的线匝用绝缘带包扎好，并涂上绝缘漆。

（2）当连接线绝缘套管破裂，造成连接线间短路时，可加热线圈，将套管故障处撬开，重新套好新绝缘套管或垫上绝缘纸板，最后包扎好，涂上绝缘漆。

（3）当线圈直线部分在槽楔下有几匝导线短路，而槽绝缘完好时，可先将槽楔打出，把故障线匝抽出来，焊上与原导线规格相同的导线，然后嵌入槽内，再垫好槽绝缘，打入槽楔。

（4）当某线圈短路严重，槽绝缘已损伤，而其他线圈尚完好时，可先将此故障线圈剪断，抽出槽外，然后采取局部更换线圈的方法，将新线圈嵌入槽内。对于单层链式或交叉式绕组，在排除旧线圈之后，先将其余线圈加热（100℃左右）使绝缘软化，然后把上面的线圈端部压到下面去，填入空槽，也就是旧线圈的下层位置被原槽中的线圈压下后占据，将上层空出来，再将新线圈的两边全部放在槽的上层，最后整理好槽绝缘，可在拆除后采用穿线方法将导线穿入空槽内，构成新线圈。在操作时，不要让相邻的完好线圈受损伤。

（5）当多匝线圈有一匝线圈短路时，可先将线圈加热，撬开两端部，使此短路导线露出，并抽出槽外甩掉，然后将其余线匝断头焊接好，包扎上绝缘。

（6）对于短路严重的线圈，只能重新绕线圈。

训练场 3——罩极绕组故障的检修

单相罩极异步电动机如图 6-6 所示，主要用于冷柜、冷冻和贮藏系统、烘干机、焊接机等。这里所说的罩极绕组，是指罩极式异步电动机的辅助绕组，可分为隐极式和凸极式两种。



图 6-6　单相罩极异步电动机

1）隐极式罩极绕组的检修

隐极式罩极异步电动机的罩极绕组分开安放在一部分槽中，并自行短接闭合。当该绕组发生断路时，由于电动机的气隙中存在脉振磁场，因此电动机无法启动。检修时找出断路点，予以局部修理或更换绕组。

2）凸极式罩极绕组的检修

凸极式罩极电动机的每个磁极上均有 1 个或多个起辅助作用的短路铜环，即罩极绕组。由于发热、振动、焊接质量等原因，可能造成短路环焊接点断开，即辅助绕组断路，使电动机无法启动。检修时应仔细观察，确认短路环焊接点断开后，予以重新焊接。

训练场 4——绕组接地故障的检修

电动机绕组接地，也就是定子绕组和定子铁芯短路。绕组接地主要是导线的绝缘外皮破坏，或是绕组严重受潮。

绕组接地点常出现在导线引出定子铁芯的槽口处，或者绕组端部与定子铁芯短路。

1）检测方法

检查绕组接地最常用的检测方法是利用 500V 兆欧表测试绝缘电阻。必须注意，检测前，应先将电动机主绕组和副绕组的公共端拆开，分别检查主、副绕组是否接地。

检查时，应将兆欧表的两个接线柱分别用两条绝缘软线与机壳（或定子铁芯）和定子绕组的一条引出线相连。然后摇兆欧表手柄，观察表针指示情况：如果表针指示为零，则说明该相绕组已经接地；如果电阻小于 2MΩ，说明绕组受潮；如果电阻大于 2MΩ，说明该绕组正常。用同样方法对另一绕组进行检测，看其是否接地。

2）处理措施

当绕组接地时，如果接地处在绕组端部，则可采用加强绝缘的方法解决；如果绕组接地处在定子铁芯槽内，则只能重新绕制绕组，更换下原绕组。

训练场 5——绕组绝缘中度损坏的检修

单相电动机绕组绝缘中度损坏的故障特点是：电动机不能运行，其绕组中只有一个线圈烧坏变黑，其他线圈未受损。最直观的判断方法是，看线圈的漆包线颜色是否因受热而改变颜色，一般由金黄色变成黑色即为绝缘损坏。

维修时，首先小心取下已损坏的线圈，测量其线径（取一段漆包线，用打火机烧一下脱去绝缘，因为这样测量的外径才准确）。数准匝数，根据原线圈的大小，重新绕制一个新线圈嵌上即可。对于负载不重的电动机（如电风扇电动机），还可以临时采取应急方法，即找到这个线圈的头尾端，用电烙铁焊好（将头尾端短接）并套上黄蜡管，即可使用。

训练场 6——绕组绝缘轻微损坏的维修

电动机绕组绝缘轻微损坏的故障特点是：电动机在去掉负载后还能转动，只是转速变慢或

转动无力，电动机在转动时有打火花现象，并伴有轻微糊味（应立即停机，否则会造成绕组损坏更加严重）。检查线圈表面只有一处轻微损坏，有焦痕，线圈其他地方完好，仔细观察此处已成了“裸线”。

维修时，先用家用电吹风机（功率要大于 500W，开关挡旋至强热风挡），近距离对着受损的线圈吹热风，线圈慢慢软化。然后用竹片做的小刀仔细地把受损的线挑起来，与其他漆包线分开（注意不要把线挑断）并涂上绝缘清漆，使“裸线”变成绝缘漆包线，对线圈的受损部位也涂上绝缘清漆，以增强抗潮湿的能力。接下来用烘箱或电炉烘干即可。最后对线圈进行整形，装配好电动机，即可试运行。

6.1.3　常见机械故障的检修

训练场 1——轴承损坏的判断与修复

若电动机轴承损坏，运转时噪声将会增大，损坏严重时，转子会被卡死，甚至烧毁电动机绕组。

轴承损坏的主要原因是润滑不良，所以应及时给轴承加注合乎规定的润滑油，以减小轴承损坏，并延长其使用寿命。

轴承损坏比较容易判断。若电动机运转时发出“哐当、哐当”或“嘎吱、嘎吱”等异常声响，且加注润滑油后响声依旧，一般来说是轴承滚动体或滚道发生破裂、残缺所致。若电动机停止运转后，用手晃动电动机轴，明显感到松旷，说明轴承严重磨损。

上述两种情况都应更换轴承。更换新轴承时，要选用与原来型号相同的轴承。

轴承外表面上的锈斑可用 00 号砂纸擦除，然后放入汽油中清洗。

训练场 2——铁芯表面损伤及修复

电动机铁芯表面损伤，主要是由于定子和转子发生碰擦造成的。轴承严重磨损、松旷量超过极限，或者轴承损坏、转子轴发生弯曲变形，都可能导致转子发生“扫膛”，使铁芯表面遭到擦伤，严重时会导致铁芯被磨坏，造成绕组碰壳断路。

一旦出现转子“扫膛”，应立即停机查找原因，更换轴承或转子轴。同时，要处理好铁芯表面被磨坏的部位，并涂上绝缘漆。

训练场 3——转轴故障检修

1）轴弯曲的检修

若弯曲不大，可通过磨光轴颈、滑环的方法进行修复；若弯曲超过 0.2mm，可将转轴放在压力机下，在弯曲处加压矫正，矫正后的轴表面用车床切削磨光；如果弯曲过大，则需另换新轴。

2）轴颈磨损的检修

轴颈磨损不大时，可在轴颈上镀一层铬，再磨削至需要尺寸；磨损较多时，可在轴颈上进

行堆焊，再到车床上切削磨光；如果轴颈磨损过大，则在轴颈上车削 2～3mm，再车一个套筒，趁热套在轴颈上，然后车削到所需尺寸。

指点迷津

电动机修理完以后，需要进行电气性能方面的检测和空载试运行。当检测合格，试运转无异常后，电动机方可正式投入使用。

6.2 三相异步电动机故障检修

据统计，在全国电动机使用总量中 80%以上是三相异步电动机。因为它具有较高的效率和接近恒速的负载特性，而且价格低廉、坚固耐用，制造、使用和维修都很方便。由于其内部结构很紧凑，维修工艺要求高，因此普通电工要能够对电动机的常见故障进行诊断和处理。涉及绕组重新绕制等比较复杂的工作，则是电动机专业维修电工的职责。

6.2.1 三相异步电动机维修项目

加油站 1——电动机定期小修项目

电动机定期维修包括小修和大修两种。小修仅对电动机及启动设备做一般性检修，不做大的拆卸，一般情况下一季度一次。电动机小修检查项目及内容见表 6-5。

表 6-5 电动机小修检查项目及内容

项　目	检 查 内 容	项　目	检 查 内 容
清理电动机	（1）清除和擦去电动机外壳的污垢； （2）测量绝缘电阻	检查各个固定部分的螺钉和接地线	（1）检查地脚螺钉是否紧固； （2）检查端盖螺钉是否紧固； （3）检查轴承盖螺钉是否松动； （4）检查接地线是否良好
检查和清理电动机接线部分	（1）清理接线盒污垢； （2）检查接线部分螺钉是否松动、损坏； （3）拧紧压线螺钉	检查传动装置	（1）检查传动装置是否可靠，皮带松紧是否适中； （2）检查传动装置有无损坏
检查轴承	（1）检查轴承是否缺油、有否漏油； （2）检查轴承有无杂音及磨损情况	检查和清理启动设备	（1）清理外部污垢，清洁触头，检查是否有烧伤处； （2）检查接地是否可靠，测量绝缘电阻

加油站 2——电动机定期大修项目

大修的目的在于对电动机进行一次彻底、全面的检查、维护，增补电动机缺少、磨损的元

件，彻底清除电动机内外的灰尘、污物，检查绝缘情况，清洗轴承并检查其磨损情况。一般情况下一年进行一次大修。电动机大修检查项目及内容见表 6-6。

表 6-6　电动机大修检查项目及内容

项　　目	检 查 内 容	项　　目	检 查 内 容
清理电动机及启动设备	（1）清除表面及内部各部分的油泥、污垢； （2）清洗轴承	检查启动设备、测量仪表及保护装置	（1）启动设备熔点是否良好，接线是否牢固； （2）各种测量仪表是否良好； （3）检查保护装置动作是否正确良好
检查电动机及启动设备的各种零部件	（1）零部件是否齐全； （2）零部件有无磨损； （3）检查轴承润滑油是否变质，是否需要重新加油	检查传统装置	（1）连轴器是否牢固； （2）连接螺钉有无松动； （3）检查皮带松紧程度
检查电动机绕组有无故障	（1）绕组有无接地、短路、断路等现象； （2）转子有无断裂； （3）绝缘电阻是否符合要求	试车检查	（1）测量绝缘电阻； （2）安装是否牢稳； （3）检查各转动部分是否灵活； （4）检查电压、电流是否正常，是否有不正常振动和噪声
检查电动机定子、转子铁芯是否相擦	定子、转子是否有相擦痕迹，若有，应予以修正		

中转站——通过手感检查电动机

用手触摸电动机的外壳，可以大致判断温升的高低，如图 6-7 所示。若用手一触及电动机外壳便感到很烫，温度值很高，应检查原因，如负荷过重、电压过高等，然后针对原因排除故障。由于每个人的感觉不同，带有主观性，因此要由经验来决定。



图 6-7　检查电动机的温升情况

电动机外壳表面温度与手感的关系见表 6-7。

表 6-7　电动机外壳表面温度与手感的关系

机壳温度（℃）	手　　感	说　　明
30	稍冷	机壳比体温低，故感觉稍冷
40	稍温	感到温和
45	温和	用手一摸，就感到温和

续表

机壳温度（℃）	手　　感	说　　明
50	稍热	长时间用手摸时，手掌变红
55	热	仅能用手摸5～6s
65	非常热	仅能用手摸2～3s，离开后还能感到手热
70	非常热	用一个手指触摸，只能坚持3s左右
75	极热	用一个手指触摸，只能坚持1～2s
80	极热，以为电动机烧毁	手指稍触热便想离开，用乙烯树脂带试，会卷缩
80～90	极热，以为电动机烧毁	用手指触摸一下，就感到烫的不得了

注：当机壳为钢板时，每种温度均应减去5（℃）

6.2.2　三相电动机常见故障检修

加油站——三相异步电动机的故障类型

三相异步电动机在长期的运行过程中，会发生各种各样的故障，这些故障综合起来可分为电气故障和机械故障两大类。电气故障主要有定子绕组、转子绕组、定子铁芯、转子铁芯、开关及启动设备的故障等；机械故障主要有轴承、转轴、风扇、机座、端盖、负载机械设备等的故障。

训练场1——三相异步电动机常见故障的处理

及时查找故障原因并进行相应处理，是防止故障扩大、保证电动机正常运行的重要工作。下面将三相异步电动机的常见故障现象、故障的可能原因及相应的处理方法列于表6-8。

表6-8　三相异步电动机的常见故障及处理

故障现象	故障原因	处理方法
通电后电动机不能启动，但无异响，也无异味和冒烟	（1）电源未通（至少两相未通）； （2）熔丝熔断（至少两相熔断）； （3）过流继电器调得过小； （4）控制设备接线错误	（1）检查电源开关、接线盒处是否有断线，并予以修复； （2）检查熔丝规格、熔断原因，换新熔丝； （3）调节继电器整定值，使之与电动机配合； （4）改正接线
通电后电动机转不动，然后熔丝熔断	（1）缺少一相电源； （2）定子绕组相间短路； （3）定子绕组接地； （4）定子绕组接线错误； （5）熔丝截面过小	（1）找出电源回路断线处并接好； （2）查出短路点，予以修复； （3）查出接地点，予以消除； （4）查出错接处，并改接正确； （5）更换熔丝
通电后电动机不启动，但有“嗡嗡”声	（1）定、转子绕组或电源有一相断路； （2）绕组引出线或绕组内部接错； （3）电源回路接点松动，接触电阻大； （4）电动机负载过大或转子发卡； （5）电源电压过低； （6）轴承卡住	（1）查明断路点，予以修复； （2）判断绕组首尾端是否正确，将错接处改正； （3）紧固松动的接线螺钉，用万用表判断各接点是否假接，予以修复； （4）减载或查出并消除机械故障； （5）检查三相绕组接线是否把△形接法误接为Y形，若误接应更正； （6）更换合格油脂或修复轴承

续表

故障现象	故障原因	处理方法
电动机启动困难，带额定负载时的转速低于额定值较多	（1）电源电压过低； （2）△形接法电动机误接为Y形； （3）笼型转子开焊或断裂； （4）定子绕组局部线圈错接； （5）电动机过载	（1）测量电源电压，设法改善； （2）纠正接法； （3）检查开焊和断点并修复； （4）查出错接处，予以改正； （5）减小负载
电动机空载电流不平衡，三相相差较大	（1）定子绕组匝间短路； （2）重绕时，三相绕组匝数不相等； （3）电源电压不平衡； （4）定子绕组部分线圈接线错误	（1）检修定子绕组，消除短路故障； （2）严重时重新绕制定子线圈； （3）测量电源电压，设法消除不平衡； （4）查出错接处，予以改正
电动机空载或负载时电流表指针不稳，摆动	（1）笼型转子导条开焊或断条； （2）绕线型转子一相断路，或电刷、集电环短路装置接触不良	（1）查出断条或开焊处，予以修复； （2）检查绕线型转子回路并加以修复
电动机过热甚至冒烟	（1）电动机过载或频繁启动； （2）电源电压过高或过低； （3）电动机缺相运行； （4）定子绕组匝间或相间短路； （5）定子、转子铁芯相擦（扫膛）； （6）笼型转子断条，或绕线型转子绕组的焊点开焊； （7）电动机通风不良； （8）定子铁芯硅钢片之间绝缘不良或有毛刺	（1）减小负载，按规定次数控制启动； （2）调整电源电压； （3）查出断路处，予以修复； （4）检修或更换定子绕组； （5）查明原因，消除摩擦； （6）查明原因，重新焊好转子绕组； （7）检查风扇，疏通风道； （8）检修定子铁芯，处理铁芯绝缘
电动机运行时响声不正常，有异响	（1）定子、转子铁芯松动； （2）定子、转子铁芯相擦（扫膛）； （3）轴承缺油； （4）轴承磨损或油内有异物； （5）风扇与风罩相擦	（1）检修定子、转子铁芯，重新压紧； （2）消除摩擦，必要时车削转子； （3）加润滑油； （4）更换或清洗轴承； （5）重新安装风扇或风罩
电动机在运行中振动较大	（1）电动机地脚螺栓松动； （2）电动机地基不平或不牢固； （3）转子弯曲或不平衡； （4）联轴器中心未校正； （5）风扇不平衡； （6）轴承磨损间隙过大； （7）转轴上所带负载机械的转动部分不平衡； （8）定子绕组局部短路或接地； （9）绕线型转子局部短路	（1）拧紧地脚螺栓； （2）重新加固地基并整平； （3）校直转轴并做转子动平衡； （4）重新校正，使之符合规定； （5）检修风扇，校正平衡； （6）检修轴承，必要时更换； （7）做静平衡或动平衡试验，调整平衡； （8）寻找短路或接地点，进行局部修理或更换绕组； （9）修复转子绕组
轴承过热	（1）滚动轴承中润滑脂过多； （2）润滑脂变质或含杂质； （3）轴承与轴颈或端盖配合不当（过紧或过松）； （4）轴承盖内孔偏心，与轴相擦； （5）皮带张力太紧或联轴器装配不正； （6）轴承间隙过大或过小； （7）转轴弯曲； （8）电动机搁置太久	（1）按规定加润滑脂； （2）清洗轴承后换洁净润滑脂； （3）过紧应车、磨轴颈或端盖内孔，过松可用黏结剂修复； （4）修理轴承盖，消除摩擦； （5）适当调整皮带张力，校正联轴器； （6）调整间隙或更换新轴承； （7）校正转轴或更换转子； （8）空载运转，过热时停车，冷却后再走，反复走几次，若仍不行，拆开检修

续表

<table>
<tr><th>故障现象</th><th>故障原因</th><th>处理方法</th></tr>
<tr><td>空载电流偏大（正常空载电流为额定电流的20%～50%）</td><td>（1）电源电压过高；
（2）将Y形接法错接成△形接法；
（3）修理时绕组内部接线有误，如将串联绕组并联；
（4）装配质量问题，轴承缺油或损坏，使电动机机械损耗增加；
（5）检修后定子、转子铁芯不齐；
（6）修理时定子绕组线径取得偏小；
（7）修理时匝数不足或内部极性接错；
（8）绕组内部有短路、断线或接地故障；
（9）修理时铁芯与电动机不相配</td><td>（1）若电源电压值超出电网额定值的 5%，可向供电部门反映，调节变压器上的分接开关；
（2）改正接线；
（3）纠正内部绕组接线；
（4）拆开检查，重新装配，加润滑油或更换轴承；
（5）打开端盖检查，并予以调整；
（6）选用规定的线径重绕；
（7）按规定匝数重绕绕组，或核对绕组极性；
（8）查出故障点，处理故障处的绝缘，若无法恢复，则应更换绕组；
（9）更换成原来的铁芯</td></tr>
<tr><td>空载电流偏小（小于额定电流的20%）</td><td>（1）将△形接法错接成Y形接法；
（2）修理时定子绕组线径取得偏小；
（3）修理时绕组内部接线有误，如将并联绕组串联</td><td>（1）改正接线；
（2）选用规定的线径重绕；
（3）纠正内部绕组接线</td></tr>
<tr><td>Y-△开关启动，Y位置时正常，△位置时电动机停转或三相电流不平衡</td><td>（1）开关接错，处于△位置时的三相不通；
（2）处于△位置时开关接触不良，成 V 形连接</td><td>（1）改正接线；
（2）将接触不良的接头修好</td></tr>
<tr><td>电动机外壳带电</td><td>（1）接地电阻不合格或保护接地线断路；
（2）绕组绝缘损坏；
（3）接线盒绝缘损坏或灰尘太多；
（4）绕组受潮</td><td>（1）测量接地电阻，接地线必须良好，接地应可靠；
（2）修补绝缘，再经浸漆烘干；
（3）更换或清扫接线盒；
（4）干燥处理</td></tr>
<tr><td>绝缘电阻只有数十千欧到数百欧，但绕组良好</td><td>（1）电动机受潮；
（2）绕组等处有电刷粉末（绕线型电动机）、灰尘及油污进入；
（3）绕组本身绝缘不良</td><td>（1）干燥处理；
（2）加强维护，及时除去积存的粉尘及油污，对较脏的电动机可用汽油冲洗，待汽油挥发后，进行浸漆及干燥处理，使其恢复良好的绝缘状态；
（3）拆开检修，加强绝缘，并做浸漆及干燥处理，无法修理时，重绕绕组</td></tr>
<tr><td>电刷火花太大</td><td>（1）电刷牌号或尺寸不符合要求；
（2）滑环或整流子有污垢；
（3）电刷压力不当；
（4）电刷在刷握内有卡涩现象；
（5）滑环或整流子呈椭圆形或有沟槽</td><td>（1）更换合适的电刷；
（2）清洗滑环或整流子；
（3）调整各组电刷压力；
（4）打磨电刷，使其在刷握内能自由上下移动；
（5）上车床车光、车圆</td></tr>
<tr><td>电动机轴向窜动</td><td>使用滚动轴承的电动机为装配不良</td><td>拆下检修，电动机轴向允许窜动量如下表所示
<table>
<tr><th rowspan="2">容量（kW）</th><th colspan="2">轴向允许窜动量（mm）</th></tr>
<tr><th>向一侧</th><th>向两侧</th></tr>
<tr><td>10 及以下</td><td>0.50</td><td>1.00</td></tr>
<tr><td>10～22</td><td>0.75</td><td>1.50</td></tr>
<tr><td>30～70</td><td>1.00</td><td>2.00</td></tr>
<tr><td>75～125</td><td>1.50</td><td>3.00</td></tr>
<tr><td>125 以上</td><td>2.00</td><td>4.00</td></tr>
</table></td></tr>
</table>

训练场 2——滑环与电刷的常见故障处理

绕线型异步电动机最容易出故障的部位就是滑环与电刷。电动机滑环与电刷的常见故障及处理方法见表 6-9。

表 6-9　绕线型异步电动机滑环、电刷常见故障及处理方法

故障现象	故障原因	处理方法
滑环表面轻微损伤，如有刷痕、斑点、细小凹痕	电刷与滑环接触轻度不均匀	调整电刷与集电环的接触面，使两者接触均匀；转动滑环，用油石或细锉轻轻研磨，直至平整，再用 0 号砂布在滑环高速旋转的情况下进行抛光，直到滑环表面呈现金属光泽为止
滑环表面严重损伤，如表面凹凸度、槽纹深度超过 1mm，损伤面积超过滑环表面面积的 20%～30%	（1）电刷型号不对，硬度太高，尺寸不合适，长期使用造成滑环损伤； （2）电刷中有金刚砂等硬质颗粒，使滑环表面出现粗细、长短不一的线状痕迹； （3）火花太大，烧伤滑环表面	首先需检修滑环，拆下转子进行车修。注意尽量少旋去金属。滑环车修后，须进行抛光，并用压缩空气将金属粉末吹净。 （1）更换成规定型号和尺寸的电刷； （2）使用质量合格的电刷； （3）找出火花大的原因并排除
滑环呈椭圆形（严重时会烧毁滑环）	运行时产生机械振动所致。 （1）电动机未安装稳固； （2）滑环的内套与电动机轴的配合间隙过大，运行时产生不规则的摆动	首先车修滑环，方法同上。 （1）紧固底脚螺钉； （2）检查并固定牢滑环在轴上的位置
电刷冒火	（1）维护不力，滑环表面粗糙，造成恶性循环，加重火花； （2）电刷型号、尺寸不合适，或电刷因长期使用而磨损、过短； （3）电刷在刷握内卡住； （4）电刷研磨不良，接触面不平，与滑环接触不良； （5）电刷压簧压力不均匀或压力不够； （6）滑环不平或不圆； （7）油污或杂物落入滑环与电刷之间，造成两者接触不良； （8）空气中有腐蚀性介质存在	（1）加强巡视、维护，发现问题时及时处理； （2）更换成规定型号和尺寸的电刷，更换过短的电刷； （3）查出原因，使电刷能在刷握内上下自由移动，但也不能过松； （4）用细砂布研磨接触面，并保证接触面不小于 80%，或换上新电刷（新电刷接触面也需打磨）； （5）调整压簧压力，弹性达不到要求时，更换压簧（压力应保证有 15～20kPa）； （6）用砂布将滑环磨平，严重时需车圆； （7）用干净的棉布蘸汽油将电刷和滑环擦拭干净，除去周围和轴承上的油污，并采取防污措施； （8）改善使用环境，加强维护
电刷或滑环间弧光短路	（1）电刷上脱下来的导电粉末覆盖绝缘部分，或在电刷架与滑环之间的空间内飞扬，形成导电通路； （2）胶木垫圈或环氧树脂绝缘垫圈破裂； （3）环境恶劣，有腐蚀性介质或导电粉尘	（1）加强维护，及时用压缩空气或吸尘器除去积存的电刷粉末；可在电刷架旁加一个隔离板（2mm 厚的绝缘层压板），用一只平头螺钉将其固定在刷架上，把电刷与电刷架隔开。 （2）更换滑环上的各绝缘垫圈； （3）改善环境条件

中转站——听轴承声音辨电动机故障

交流异步电动机在运行中，若发出较细的“嗡嗡”声，没有忽高忽低的变化，是一种正常的声音，若声音粗、且有尖锐的“嗡嗡”、“咝咝”声，则是存在故障的先兆，应考虑以下原因。

（1）铁芯松动。电动机在运行中的振动，温度忽高忽低的变化，会使铁芯固定螺栓变形，造成硅钢片松动，产生大的电磁噪声。

（2）转子噪声。转子旋转发出的声音，由冷却风扇产生的是一种“呜呜”声，若有像敲鼓时的“咚咚”声，则是电动机在骤然启动、停止、反接制动等变速情况下，加速力矩使转子铁芯与轴的配合松动所造成的，轻者可继续使用，重者需拆开检查和修理。

（3）轴承噪声。电动机在运行中，必须注意轴承声音的变化。如图 6-8 所示，把螺丝刀的一端触及轴承盖上，另一端贴在耳朵上，可以听到电动机内部的声音变化，不同的部位，不同的故障，有不同的声音。如“嘎吱嘎吱”声，一般与轴承的间隙、润滑脂状态有关；“咝咝”声是金属摩擦声，一般是轴承缺油干磨所致，应拆开轴承添加润滑脂。



图 6-8　听轴承声音辨电动机故障

6.2.3　三相电动机绕组故障的检修

加油站——绕组故障成因及类型

定子绕组是异步电动机的主要组成部分，也是最容易损坏的部件。由于受潮、受热、受有害气体、灰尘的侵蚀，以及过载或两相运行等外界因素的影响，或电动机定子绕组本身的绝缘老化，或者绕组的绕制质量不好等，都可能导致定子绕组发生故障。

定子绕组的常见故障主要有绕组接地、绕组短路、绕组断路等。这些故障会造成电动机不能正常运转或完全不能运行，甚至烧毁。因此，定子绕组发生故障时，必须进行检查和修理。

训练场 1——定子绕组接地故障的检修

1）绕组接地的故障现象及产生原因

定子绕组接地是指绕组与铁芯或机壳间的绝缘破坏而直接接通的现象。出现这种故障后，会使机壳带电，将引起人身触电伤亡事故；也可能使一些控制线路造成失控；还会使绕组发热而导致短路，使电动机无法正常运行。

造成定子绕组接地的原因是受潮、雷击、过热、机械损伤、腐蚀、绝缘老化，以及绕组制造工艺不良等。

2）接地故障的检查方法

定子绕组接地故障的检查方法见表 6-10。

表 6-10　定子绕组接地故障的检查方法

序　号	检 查 方 法	操 作 说 明
1	兆欧表法	根据电动机额定电压选择兆欧表的电压等级。用兆欧表测量各相绕组对地绝缘电阻，兆欧表读数为零时，表示该相绕组接地。有时兆欧表指针在 0 处摇摆不定，这说明该相绕组绝缘有击穿现象。这种方法一般只能检查出是哪一相绕组接地，而不能查出接地点，如图 6-9 所示
2	校验灯法	如图 6-10 所示，在电源回路中串接一只灯泡，用带绝缘的测试棒分别测量各相绕组与机壳间的绝缘状况。如果灯泡发亮，则说明该相绕组接地；若灯泡虽不亮，但测试棒接触电动机时出现火花，这说明绕组尚未击穿，只是严重受潮。用校验灯法检查绕组接地时，还可根据出现的冒烟或火花现象，直接找到接地故障点
3	电压降法	当确定了接地故障相以后，可以采用电压降法查找接地点的位置。将交流或直流电源接于故障相的两端，如图 6-11 所示。测得各电压表的读数为 U_1、U_2、U_3，因为 $U_1+U_2=U_3$，按电压的比例即可求出接地点距离引线端的长度百分数 $L\%$。例如，接地点 D 相距引线端 A 点的长度百分数为 $L\%=(U_1/U_3)\times100\%$
4	开口变压器法	这种方法适用于高压电动机。确定故障相后，在故障相与铁芯间加一低压（36V）交流电源，如图 6-12 所示，这样在电流流入端至接地点 D 之间，所有串联的线圈中都有电流，而接地点以后的线圈中无电流通过。查找接地点时，开口变压器的线圈两端串接一只微安表，用开口变压器跨在槽的上面并沿轴向移动，逐槽测试。当全槽都有感应电压产生时，说明接地点不在该槽内；当开口变压器在 X_1、X_2 槽上移动，到 D 点后微安表的指示消失（或减少），则表示接地点在 D 处
5	验电笔法	拆下接地线，用验电笔测机壳。如果氖管发亮，说明绕组接地或严重受潮；如果氖管微亮，说明绝缘下降，电动机受潮

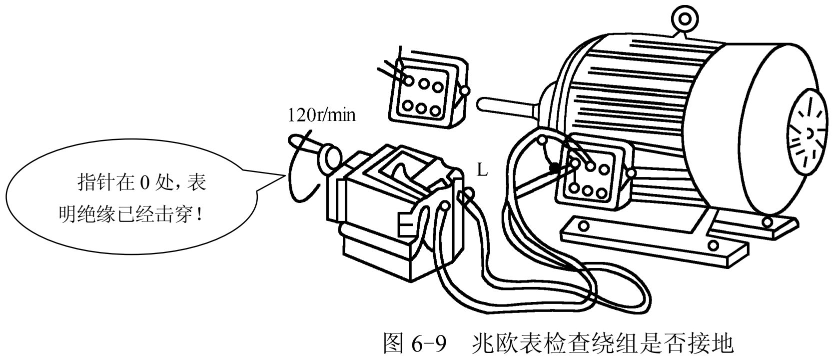


图 6-9　兆欧表检查绕组是否接地

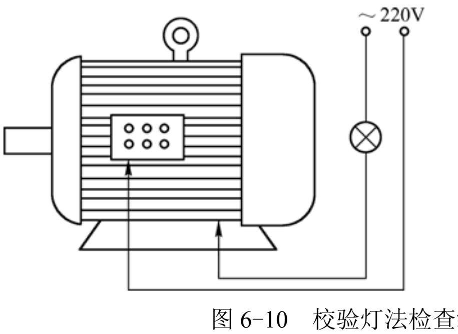




图 6-10　校验灯法检查绕组是否接地

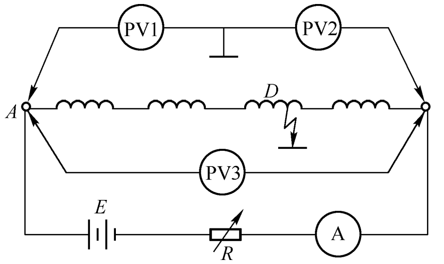


图 6-11　电压降法查找接地点

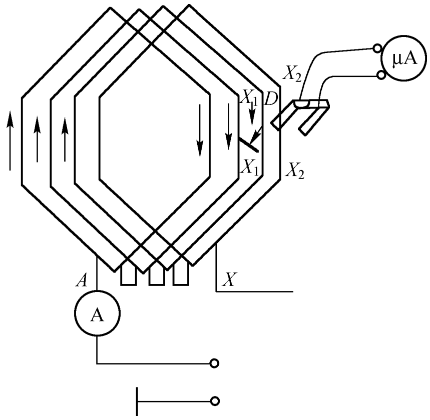


图 6-12　开口变压器法查找接地点

3）定子绕组接地检修方法

找到了定子绕组接地点之后，可按照表 6-11 所示的方法进行检修。

表 6-11　定子绕组接地故障的检修

序　号	操 作 方 法
1	接地点在槽口附近时，可用划线板撬开槽绝缘，在故障处塞入大小适当的绝缘材料，如绝缘纸、天然云母及竹片等，如图 6-13 所示。 若是两根以上的导线绝缘损坏，处理好槽绝缘后，还应在导线间用黄蜡布隔离，并涂上绝缘漆，烘干后复查绕组绝缘应无接地现象。如果接地处的线圈有较多根导线绝缘损坏，最好另换一只新线圈
2	绕组的上层边绝缘损坏而发生接地时，可以打出槽楔，修补槽衬或抬出上层线匝进行绝缘处理。修复绕组绝缘后，应重新打入槽楔。若打入槽楔时过紧或无法打入，应适当将槽楔修薄
3	接地点发生在槽底时，只有更换槽衬才能解决。为此，必须抬出一个节距内的线圈，操作时应特别小心，不要碰伤匝间绝缘。 为了避免损伤绝缘，一般采用将绕组加热软化后再撬出线圈的方法。通常是在线圈中通入小于额定值的电流，利用铜损耗来加热线圈，加热温度应不超过 75℃。待绝缘软化后，停止加热，打出槽楔，用竹片撬开槽衬，慢慢地将线圈抬出槽口，逐个取出一个节距内的上层边后，再把有接地故障的下层边取出，更换新槽衬，并对故障线圈进行绝缘处理。 接地故障修复后，重新嵌入此节距范围内绕组的上层边，打入槽楔，复查绕组接地情况。最后将绕组端部绑扎、整形（如图 6-14 所示），并进行涂漆、烘干处理



（a）垫绝缘纸



（b）嵌竹片

图 6-13　接地点在槽口附近的处理方法



图 6-14　端部绑扎整形处理



训练场 2——定子绕组短路故障的检修

1）定子绕组短路的故障现象及产生原因

定子绕组的短路故障是指绕组匝间或不同绕组之间的绝缘损坏而造成短路的现象，一般有 3 种类型，即匝间短路、极相组间短路和相间短路。

造成绕组短路故障的原因通常是电动机电流过大，电源电压偏高或波动太大，绝缘老化、受潮、机械损伤等。绕组短路使各相绕组串联匝数不等，磁场分布不平衡，造成电动机运行时振动加剧、噪声增大、温升偏高甚至烧毁。

2）定子绕组短路故障的检查方法（见表 6-12）

表 6-12　定子绕组短路故障的检查方法

序　　号	方　　法	操 作 说 明
1	外观检查法	绕组短路较严重时，拆开电动机后便可明显地看出，绕组短路处的表面绝缘有焦脆变色或局部烧损现象，如图 6-15 所示。如果故障点不明显，可给电动机通电，运行几分钟后，迅速停下并拆开定子，用手触摸绕组端部，温度过高处即是短路部位
2	兆欧表测试法	测量电动机每两相之间的绝缘电阻，如果阻值很低，说明该两相间有短路现象
3	电流检查法	让电动机空载运行，测量三相电流，如图 6-16 所示。电流较大的一相绕组可能有短路故障。 应注意三相电源电压值，如果三相电压不平衡，应采取调换两相电源的方法来校验。若电流不随电源调换而改变，则电流较大的一相绕组可能有短路故障。找出有短路故障的绕组后，再进一步找出故障点
4	电阻检查法	用电桥或万用表的低阻挡，测量每相绕组的直流电阻，阻值较小的一相即可能有短路故障，如图 6-17 所示。但短路匝数很少时，很难测出
5	短路探测器检查法	短路探测器是一个在铁芯上绕有线圈的感应器，其底部呈曲面，以便和定子内周的弧形相吻合。使用时，将探测器开口部分放在被检查的定子铁芯槽口上，在探测器线圈回路中串入一只电流表，然后，接到规定的交流电源上，如图 6-18 所示。 使探测器线圈成为变压器的一次绕组，被测试线圈成为二次绕组。如果该线圈良好，则没有什么反应；如果该线圈短路，即产生电流，使一次绕组的电流增大。在短路探测器励磁线圈回路中的电流表读数增大，再用一块薄铁片（或一段锯条）放在被测线圈的另一边槽口上，此铁片被槽口的磁力吸引而产生振动，发出吱吱声。 将短路探测器沿定子铁芯内圆逐槽移动，便可找出有匝间短路的故障线圈位置。通过观察电流表读数的变化，便可查出短路故障所在部位

续表

序　　号	方　　法	操作说明
5	短路探测器检查法	使用短路探测器检查绕组匝间短路时，应注意以下几点： （1）对于连接和多支路并联的绕组，在检查前应将三相绕组或并联支路拆开； （2）检查时铁片要远离短路探测器，以防止有漏磁的干扰； （3）判断双层绕组的短路线圈，当发现一个槽内线圈有匝间短路的现象时，应查出该槽内上、下层线圈各自对应的另一线圈边，并用薄铁片在两个对应边上探查，根据薄铁片的不同反应，确定是哪个线圈有匝间短路； （4）短路探测器在接通电源前，应先放在定子铁芯上，并使开口铁芯与定子齿接触吻合，以减小闭合磁路的磁阻，否则短路探测器的励磁线圈会因电流过大而发热烧坏

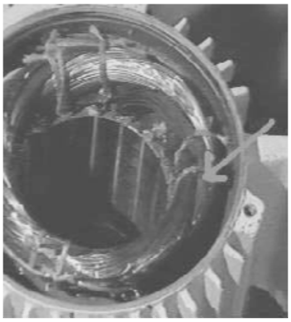


图 6-15　几匝线圈局部短路



图 6-16　检测三相电流是否平衡

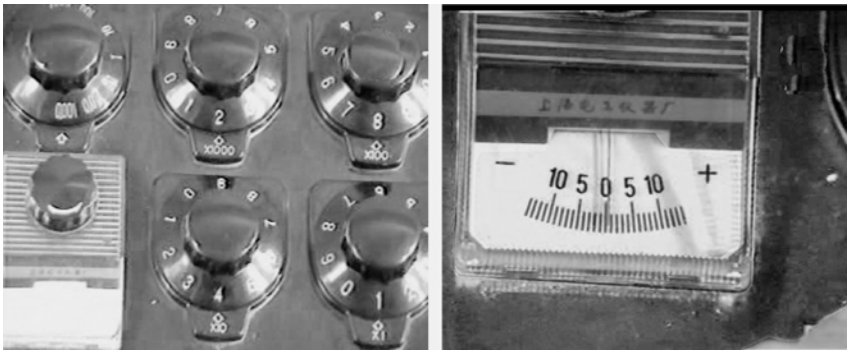
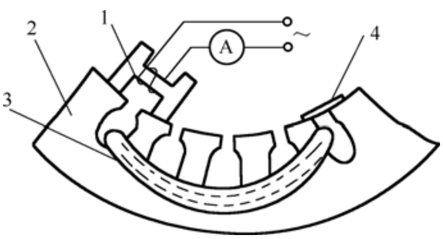


图 6-17　用电桥测量绕组的直流电阻



1—短路探测器；2—定子铁芯；3—被测线圈；4—锯条或铁片

图 6-18　用短路探测器检查匝间短路

3）定子绕组短路检修方法

定子绕组短路点的位置不同，其检修方法及手段也有所不同，见表 6-13。

表 6-13 定子绕组短路检修方法

序 号	短 路 点	检 修 方 法
1	匝间短路	若线圈损坏不严重，可先把该线圈加热，使绝缘物软化后，再用划线板撬起坏导线，垫入新的绝缘材料，并趁热浸上绝缘漆，进行烘干。 若线圈匝间短路使导线绝缘严重损坏，时间上又不允许进行彻底的修理，则可采用跳接法。采用这种应急措施时，应注意适当减轻负荷运行
2	线圈间短路	这种短路通常发生在绕组端部，可用划线板撬开有短路的两个线圈，在线圈间垫入绝缘纸后，再涂绝缘漆并烘干
3	极相组间短路	出现极相组间短路时，可将绕组加热软化，用划线板撬开引线处，重新处理套管或在短路部位垫上绝缘纸，并用扎线绑牢
4	相间短路	相间短路故障多由各相引出线套管处理不当或绕组端部的相间绝缘纸破裂所造成。此时只需处理好引线绝缘或相间绝缘，即可排除故障

训练场 3——定子绕组断路故障的检修

1）定子绕组断路的故障现象及产生原因

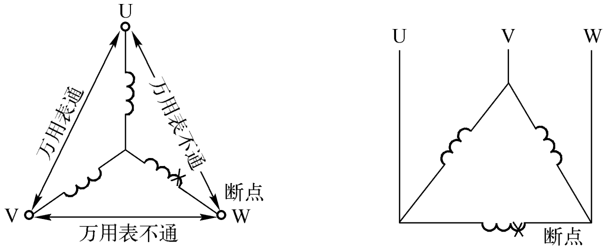
定子绕组断路的原因主要是绕组受外力作用而断裂，接头焊接不良而松脱，绕组短路产生大电流而烧断。绕组断路后将使电动机不能启动，或在运行中使三相电流不平衡，甚至烧毁电动机绕组。绕组断路故障多发生在绕组端部的各接线头或引线端等处。

2）定子绕组断路故障的检查方法

定子绕组断路故障的检查方法见表 6-14。

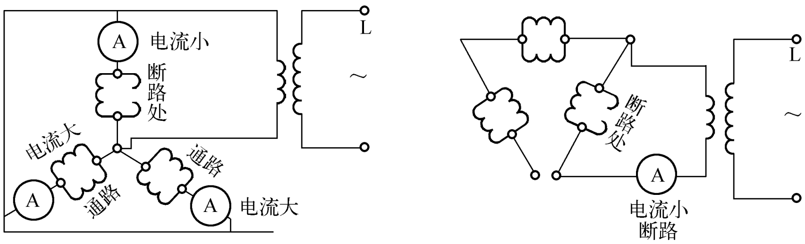
表 6-14 定子绕组断路故障的检查方法

序 号	检 查 方 法	操 作 说 明
1	万用表法	这种方法适用于绕组无并联支路或多根并绕的小型异步电动机。根据绕组的接法可按下述 4 种情况进行检查。 （1）定子绕组采用Y接法，且中性点引出到接线盒时，可将万用表置于相应的电阻挡，用一支表笔接中性点，另一支表笔分别接三相绕组的引出端 U1、V1、W1，若测到某相不通，则表明该相绕组有断路处。 （2）定子绕组采用Y接法，但中性点无法引到机外时，可按图 6-19（a）所示分别测量 UV、VW、WU 各相绕组接线端之间的电阻。若 UV 两端相通，VW 和 WU 两对端子之间不通，则表明 W 相绕组有断路处。 （3）定子绕组采用△接法，且 6 根引线端都引到接线盒时，可先拆开△连接的短接片，然后用万用表电阻挡分别测量各相绕组的电阻，哪一相不通，则哪一相绕组有断路。 （4）定子绕组采用△接法，但仅有 3 根引线端接到机外时，可按图 6-19（b）所示，用万用表电阻挡分别测量 UV、VW、WU 三对端子间的电阻 R_{UV}、R_{VW}、R_{WU}，电阻较大的两端子间的绕组为断路相
2	三相电流平衡法	中等容量以上的电动机绕组大多采用多根并绕或多支路并联，当其中一根或一个支路断开时，常采用三相电流平衡法或电阻法来检查，下面先介绍三相电流平衡法。 （1）对于Y接法的电动机，在电动机 3 根电源线上分别串入 3 块电流表，再将三相绕组并联，通入低压大电流，如图 6-20（a）所示。若三相电流值相差大于 5%，则电流小的一相绕组中有断路。 （2）对于△接法的电动机，先将△接头拆开一个，然后通入低压大电流，用电流表逐相测量每一相绕组的电流，电流小的一相绕组中有部分导线断路，如图 6-20（b）所示
3	电阻法	分别用双臂电桥或万用表 R×1 挡测量三相绕组的电阻，若三相电阻值相差大于 5%，则电阻较大的一相绕组中有断路处



（a）检查Y接法绕组断路　　（b）检查△接法绕组断路

图 6-19　万用表法检查绕组断路



（a）检查Y接法绕组断路　　（b）检查△接法绕组断路

图 6-20　三相电流平衡法检查绕组断路

指点迷津——断路点的确定

按照表 6-14 介绍的 3 种方法，只能查出是哪一相绕组断路，但不能找出具体故障线圈。这时可以拆开电动机，并将各相绕组的引线端子拆开，在万用表的一支表笔上焊接一枚尖针，将万用表没有尖针的表笔与故障绕组的端线相接，带尖针的表笔分别刺入各线圈的过桥线上，假设从无尖针表笔所接的那个线圈开始，逐个测量前几个线圈是通的，测到下一个线圈万用表不通了，则断路点就在这个线圈。

3）定子绕组断路的检修

查到了定子绕组断路点后，可按照表 6-15 所示的方法进行检修。

表 6-15　定子绕组断路的检修方法

序　号	断 路 点	检 修 方 法
1	过桥线或引出线接头焊接不良或扭断	断路点是过桥线或引出线接头焊接不良或扭断时，可重新焊牢接头，并套好绝缘套管
2	铁芯槽外的绕组端部	若断路点在铁芯槽外的绕组端部，又是单股线断开时，可用划线板将断线挑出，重新焊好断线接头并包扎绝缘。若是两股以上的导线断开，应仔细查找线头线尾，否则容易造成人为匝间短路
3	铁芯槽内	当断路点在铁芯槽内时，可用前面讲过的穿绕修补法更换故障线圈。若电动机有急用，一时来不及彻底处理，也可采用跳接法将断路线圈首尾端短接起来，供暂时使用

6.2.4　三相异步电动机转子故障的处理

三相异步电动机的转子结构有笼型和绕线型两种。绕线型转子绕组如图 6-21 所示，其故

障的检修与定子绕组的检修方法大致相同，可参阅本章 6.2.3 节的有关内容。这里着重介绍笼型转子绕组的常见故障现象、原因及故障检修方法。

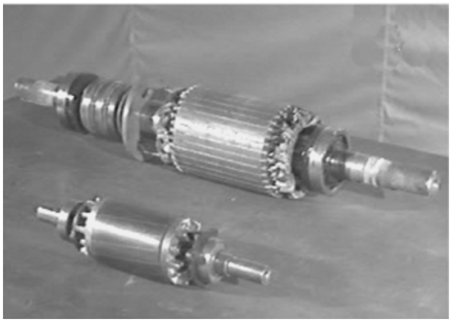
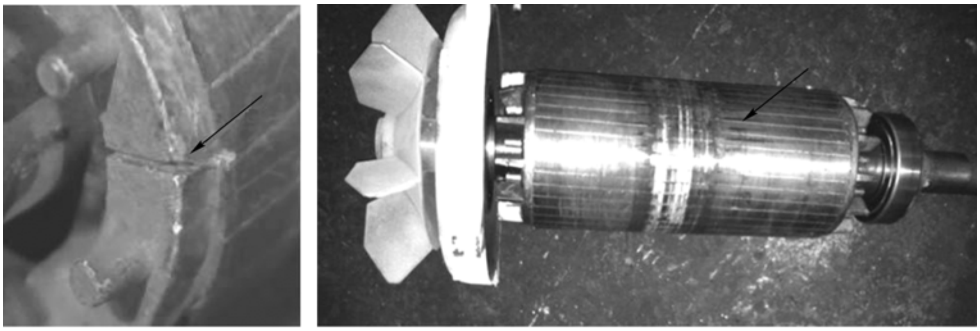


图 6-21　绕线型转子绕组

加油站 1——笼型转子的典型故障

笼型转子的常见故障是导条断裂，如图 6-22 所示。转子断条后的典型故障现象是：电动机启动困难，带不动负载；运行中的电动机转速变慢，定子电流时大时小，电流表指针呈周期性摆动；电动机过热、机身振动，还可能产生周期性的“嗡嗡”声。



（a）端环断裂　　（b）中间断条

图 6-22　转子断条

造成笼型转子断条的原因通常是铸铝或铸铜鼠笼材质不良，制造工艺粗糙，结构设计不佳，或者是运行启动频繁，操作不当，急促的正、反转造成剧烈冲击等。

训练场 1——转子断条故障的查找

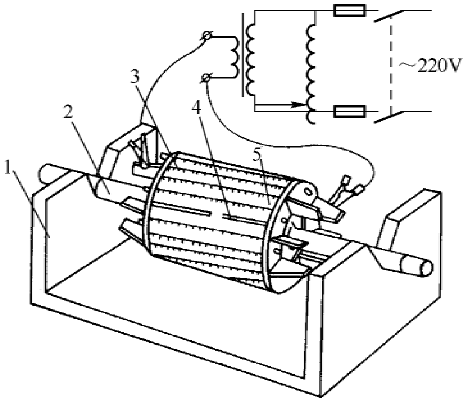
查找转子断条的方法有多种，表 6-16 介绍了常用的几种方法。

表 6-16　转子断条的判别方法

序　　号	方　　法	操 作 说 明
1	外观检查法	在电动机运行时，若转子与定子的间隙处有火花出现，则说明转子有断条。也可通过观察电流表指针有无抖动、电动机转速和带负载能力等加以判断，然后抽出转子，寻找短裂点

续表

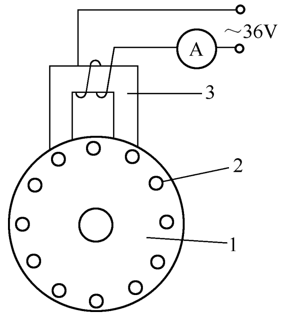
序　号	方　法	操作说明
2	铁粉检查法	这种检查方法是根据磁场能吸引铁粉的原理。如图 6-23 所示，在转子端环两端通入低压交流电，逐渐升高电压，使转子磁场不断增强，这时在转子上均匀地撒上铁粉，从铁粉的分布情况即可判断转子导条有无断裂。如果没有断条，则铁芯表面的铁粉整齐地按槽的方向排列；若转子某槽不能吸附铁粉或吸附的铁粉很少，则说明该槽导条断裂
3	短路探测器法	短路探测器的铁芯开口外缘形状呈凹弧形，恰与转子圆周表面相吻合，如图 6-24 所示。检查时，将短路探测器的铁芯凹面压在转子槽上，给探测器励磁线圈通入 36V 交流电后，使其沿转子圆周逐槽移动。若导条完好，电流表指示的是正常的短路电流；若某一槽口处的电流有明显下降，则该槽导条断裂
4	电流检测法	在定子绕组中通入约为额定电压 10%的低压电源，用手将转子慢速转动，看电流表中的电流是否稳定，若有断条，即会引起三相电流循环地变动



1—转子支架；2—转轴；3—铁粉；4—断条；5—转子

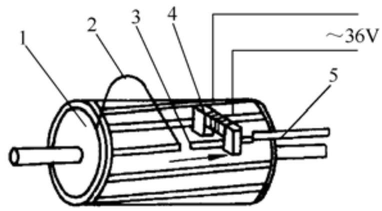
图 6-23　用铁粉检查转子断条

用上述方法查出转子某槽有断条后，还必须找出导条断裂点。通常断裂时间较长的地方，有黄黑斑点，用肉眼即可直接看出。若不能直接发现，可用图 6-25 所示的方法寻找断点。在转子一端的端环上（如左端）焊一根较粗的软导线，将短路探测器的铁芯凹面置于断条两侧的槽齿上，在断条的另一端（如右端）放上一段薄铁片（或锯条）。给短路探测器励磁线圈接通 36V 交流电源，然后把软导线的自由端从左端开始沿断条向右移动，当薄铁片开始振动时，软导线自由端左侧的位置即为导条断裂点。



1—转子；2—导条；3—短路探测器

图 6-24　短路探测器检查转子断条



1—转子；2—软导线；3—导条断点；4—短路探测器；5—薄铁片

图 6-25　用短路探测器寻找导条断点

训练场 2——转子断条的修复

一般来说，修理转子断条是需要专门设备的，而且修理过程也比较复杂，表 6-17 介绍的是几种适合在业余条件下的修复方法。

表 6-17　转子断条的修复方法

序　　号	方　　法	操 作 说 明
1	局部补焊法	在有裂纹的端环或导条两边用尖凿剔出 V 形或梯形槽，用喷灯或氧炔焰将转子加热到 450℃左右，再用气焊进行补焊，最后将修补处多余的焊料车去或铲平，如图 6-26 所示。 补焊时，一般使用含锡 63%、含锌 33%和含铝 4%的焊料
2	冷接法	第一步，将断条的电动机转子夹在铣床上，用铣刀铣出一道槽，即露出转子槽来，槽深约 4～5mm。 第二步，选用直径略小于转子槽宽的钻头，将电动机转子夹在钻床上，把断条铝槽孔钻孔（钻穿为止）。 第三步，用直径与钻头相同的铝条，嵌入钻孔槽中。 第四步，用气焊或氩弧焊把铝条两端焊接在两端环上。焊接时要注意不能损伤铁芯。 第五步，用锉刀修平焊点，用汽油清洗转子，进行静平衡与动平衡试验。 经上述修理后，电动机一般是能正常运转的
3	换条法	当导条断裂严重或断条较多时，可用下面介绍的办法更换新导条。 （1）个别铸铝导条断裂时，可用钻头沿转子斜槽将断条钻掉，除去槽内的铝屑并擦拭干净。做一根与槽形相同的铝导条插入槽内，用气焊把铝条与端环焊牢。最后，修整焊口，校正转子平衡。 （2）个别铜导条断裂时，可把断条的端环两端开一缺口，凿去一边端环部分，把断条敲出，换上一根与原导条截面相同的新铜条，并要长出端环 15～20mm，将伸出部分敲弯紧贴在端环上，然后用气焊把铜条与端环焊牢，修整焊口并校正转子平衡。 （3）铸铝转子断条较多时，应先将铝条熔化后，再重新铸铝或者改换铜条笼型绕组。熔化铸铝前，应车去转子两端的端环，再用夹具将转子铁芯夹紧，以防熔铝后铁芯松散

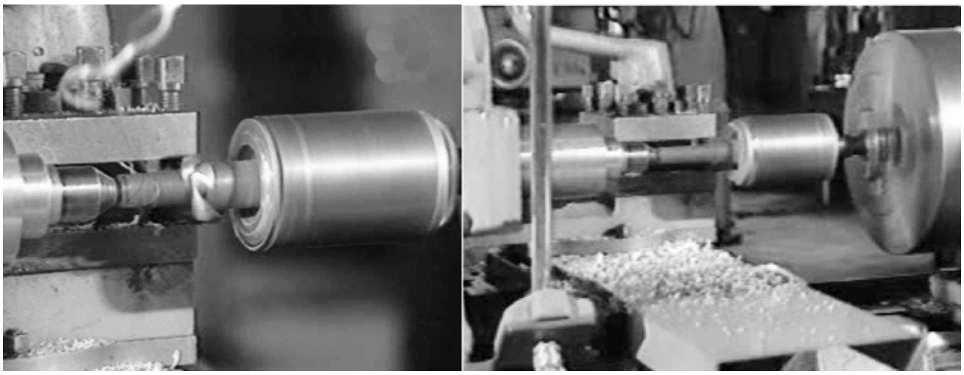


图 6-26　将修补处车平

中转站——加热熔铝的方法

将转子加热到 700℃左右，使铸铝全部熔化。熔铝后，必须清除槽内及铁芯两端的残余铝层和油污等。

重新铸铝的工艺较复杂，一般需送回电机制造厂进行重铸。在现场通常采用改换铜条鼠笼的方法。因铜条导电性能好，电流密度比铸铝的大，用铜条换铝条时，只要铜条嵌满转子槽的 60%～70%即可。穿好铜条后，两端用短路环焊牢，再将铜条鼠笼安装牢固。铜条与短路环的焊接一般采用银焊。

换好鼠笼绕组后，应进行转子静平衡校验。

加油站 2——转子铁芯常见故障

铁芯发生故障，会使涡流增大，使铁芯局部过热，影响电动机正常运行。铁芯的常见故障如下：

（1）因定子绕组短路或接地，弧光烧伤铁芯，使硅钢片间的绝缘损坏而造成短路。

（2）紧固不良和电动机振动造成铁芯松动。

（3）拆除旧绕组时因操作不当而损伤铁芯，大修时不慎被机械力损伤等。

训练场 3——转子铁芯故障修理

（1）因绕组短路或接地，弧光烧伤铁芯但不严重，可按照表 6-18 所示的方法修复。

表 6-18　转子铁芯弧光烧伤不严重的修复方法

步　骤	修 复 方 法
1	把铁芯清理干净，除去灰尘和油污，将已烧伤熔化了的局部硅钢片用小锉锉掉，打磨平整，消除片与片熔化在一起的缺陷
2	将定子铁芯靠近故障点处的通风槽片取出，使修理时硅钢片有一定的松动余地
3	用钢片剥开故障点上的硅钢片，将被烧伤硅钢片上的碳化物清除干净
4	先涂一层硅钢片绝缘漆，再插入一块薄云母片
5	将通风槽片打入，保持铁芯紧固

（2）如果铁芯在槽的齿部烧伤，只要把熔化在一起的硅钢片锉掉即可。如果影响到绕组的牢固性，则可用环氧树脂来修补烧缺部分的铁芯。

（3）当铁芯齿端轴向朝外张开和两侧压圈不紧时，可在两块钢板制成的圆盘（其外径略小于定子绕组端部的内径）中心开孔，穿一根双头螺栓，将铁芯两端夹紧，然后紧固双头螺栓，使铁芯恢复原形。槽齿歪斜时可用尖嘴钳修正。

（4）铁芯中间松动时，可在松动部位打入硬质绝缘材料，并涂以沥青漆（462 号漆）。

6.2.5　轴承的故障处理

加油站 1——轴承故障现象及原因

轴承损坏的故障现象及原因见表 6-19。

表 6-19　轴承损坏的故障现象及原因

故障现象	故障原因
轴承受热氧化变成蓝色	严重缺油，无散热能力（一般电动机运行 3 000～6 000h 后应补油一次；运行 6 000～10 000h 时应换油一次）
轴承的内、外圆及滚珠、夹持器等有裂口和剥皮	轴承与轴颈配合不当，强力套入
滚道有凹状的珠痕，四周间隙不匀	（1）安装不正确，如用铁锤直接敲击轴承外圆； （2）传动带或齿咬合太紧
轴承锈蚀，出现麻点	（1）有水汽或腐蚀性介质侵入轴承内部； （2）使用不合格的润滑脂
轴承磨损，过早老化	（1）有灰尘、砂土、铁末等杂物侵入轴承内； （2）电动机使用不当，如长期超载运行； （3）没有进行正常的维护、保养和运行监视
轴承发热，电动机振动剧烈	电动机转子平衡未校准
轴承自身老化	一般当重负荷运行至 10 000h、中负荷运行至 15 000h、轻负荷运行至 20 000h（均以电动机工作电流的大小为标准）时，要考虑更换轴承，以确保安全运行。否则，会引起轴承自身老化

训练场——轴承故障的判断

轴承损坏后，电动机在运行中会出现轴承过热现象，并发出异常噪声，严重时电动机不能运行。

检查轴承内部的缺陷时，用手迅速推动轴承外圆，视其旋转情况便可大致判断。

（1）如果转动平稳，无振动、摇摆或倒退现象，滚动声轻微，指触感觉润滑油腻，逐渐减速而自行停止，说明该轴承良好。

（2）如果转动时发出杂声并有振动、摇摆，停止时像刹车一样很突然，甚至倒退反转，说明该轴承有故障，应进行修复或更换新轴承。

加油站 2——轴承故障的修理

当轴承出现失圆、碎裂、严重磨损等不可修复的故障时，应更换新轴承。当轴承损坏程度不严重时，可按表 6-20 所示的方法进行修理。

表 6-20　轴承故障的修理方法

序　号	修理方法	操作说明
1	清洗轴承	轴承的清洗，分粗清洗和细清洗。 将轴承放在容器中，先放上金属的网垫底，在容器中倒入适量的汽油或煤油，使轴承不直接接触容器的脏物。粗清洗时，使用刷子清除润滑脂、粘着物，大致干净后，转入精洗。精洗是将轴承在清洗油中一边旋转，一边仔细地清洗
2	清除锈斑	若轴承外表面有锈斑，可用 0 号砂布擦拭，然后用汽油清洗干净。滚珠或滚道上若有轻微锈斑，可不必管它；若锈蚀较严重，可将其浸在煤油中 1～2h，然后用手沿正、反方向拨动轴承外圈多次，利用滚珠与滑道的相互摩擦除去锈斑，再在煤油中清洗干净，然后再用手拨动轴承外圈转动多次，直到将锈斑彻底清除干净为止

续表

序　　号	修 理 方 法	操 作 说 明
3	清洗止口	轴承内、外圈不平行时，应清洗止口。用对称同步方法将全部端盖螺栓旋入机座螺孔内并拧紧
4	车短，或加固	当轴承内、外圈两端面不在同一平面上时，如果是外圈向外突出，可将轴承内盖止口车短；若是外圈向内突出，可将轴承内盖止口加长，也可采用“O”形垫圈加固

指点迷津

轴承圈间轴向间隙的要求见表 6-21，超过允许值时，应更换新轴承。

表 6-21　异步电动机轴承圈间的轴向间隙

轴圈内径（mm）	轴向间隙（mm）		
	新滚动轴承	新滑动轴承	磨损最大允许值
20～30	0.01～0.02	0.03～0.05	0.1
35～50	0.0l～0.02	0.05～0.07	0.2
55～80	0.01～0.02	0.06～0.08	0.2
85～120	0.02～0.03	0.08～0.10	0.3
130～150	0.02～0.04	0.10～0.12	0.3

中转站——轴承的安装

轴承的安装方法有冷装法和热装法两种，见表 6-22。

表 6-22　轴承的安装方法

序　　号	安 装 方 法	操 作 说 明
1	冷装法	这是一种常用的方法。操作时，将轴承套到轴上，取一段内径略大于轴颈、外径略小于轴承内套圈的钢管套入轴中，并顶在轴承的内套圈上，然后用铁锤敲打钢管的另一端，慢慢地将轴承敲入到位，如图 6-27 所示。敲打时不可用力过猛，着力点对正轴向，使轴承内圈受力均匀
2	热装法	用铁丝牵上轴承，将轴承浸入 80～100℃的变压器油或机油中加热，或在烘箱中加热。然后趁热将轴承套在轴颈上，待冷却后轴承便紧固在转轴上。 热装前要将轴颈部分擦干净，趁热套入转轴至轴肩。若套不到位，应检查轴颈加工尺寸是否正确，以及轴颈处有无杂物、毛刺等，也可能是装配速度过慢而轴承已冷却所致。如果轴颈加工没有问题，可用套筒顶住轴承内套圈，用铁锤轻轻敲入

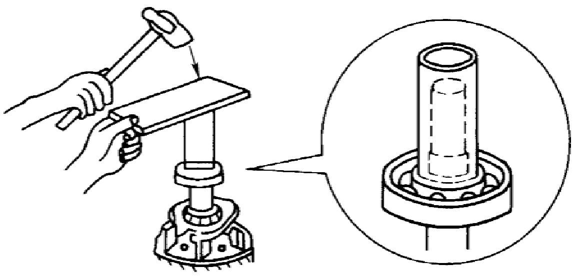


图 6-27　用钢管装配轴承

6.2.6 转轴的故障处理

加油站——转轴常见故障类型

电动机在长期运行中，由于机械力的作用，转轴本身材质的影响、解体大修及拆装轴承等，都有可能造成转轴故障。电动机转轴的常见故障有以下几种：

（1）轴弯曲；

（2）轴颈磨损；

（3）键槽磨损；

（4）轴的铁芯挡磨损；

（5）轴裂纹；

（6）轴头扭断。

训练场 1——转轴弯曲的修理

运行中若发现电动机振动较大现象，则说明轴可能弯曲。轴弯曲严重时会发生定子与转子互相摩擦的现象，造成电动机升温过高，引发电动机烧坏。所以发现轴弯曲后，应及时将转子取出并根据具体情况加以校正。

（1）若轴弯曲不大，可通过磨光轴颈、滑环的方法进行修复；若弯曲超过 0.2mm，可将转轴放于压力机下，在弯曲处加压矫正，矫正后的轴表面要用车床切削磨光。

（2）一般的电动机轴伸长长度不大，所以当轴头弯曲后，不易在压力机上矫正。这时可以在轴头表面采取堆焊的方法修复。堆焊时，对轴的弯曲段进行局部预热，堆焊高度要视轴头弯曲程度而定。弯曲严重时需要多焊，焊后对堆焊部位进行保温，使其缓慢冷却，然后车削加工到要求尺寸。车削时要以外圆为基准找正，使转子外圆与轴承挡同轴度在 0.02mm 以内，再车至原尺寸。最后铣键槽，要将键槽放在原键槽的对面位置，这样易于加工和保护堆焊面的强度。

训练场 2——转轴断裂的修理

一般断裂位置常在转轴外伸部分前轴承位置处，用拼接法修理比较简单。先将断轴转子从定子内取出，测量出轴的全长及外伸部分前轴承挡、轴承挡至转子铁芯的长度和直径，绘制一份供车削加工时用的草图。选取一根能满足车削加工所需尺寸的坯料（一般为 45 号碳素钢），最好选用经过热处理调质的钢材。

将断轴的转子装上车床，把断轴原轴承挡削平，然后进行加工，并把拼接圆钢压入断轴接孔内，如图 6-28 所示。再用电焊焊接拼接口，待电焊接口自然冷却后，将转轴送到车床上加工全部尺寸。

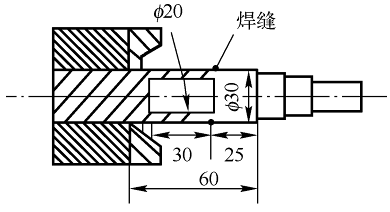


图 6-28　电动机转轴拼接举例

指点迷津——轴裂纹的修理

电动机轴产生裂纹，如果轴的横向裂纹不超过轴直径的 10%~15%，纵向裂纹不超过轴长的 10%，可用电焊法进行修补后继续使用。如果轴裂纹损坏较严重或断裂，则必须更换新轴。

训练场 3——轴颈磨损的修复

轴承拆卸多次，会使轴颈磨损。若轴颈磨损不大，一般可在轴颈处滚花或在轴颈处镀一层铬。如果磨损严重，可按照以下方法进行修复。

（1）在轴颈处用电焊堆积一层，再用车床加工至原始尺寸。堆焊时，要注意堆焊后的高度至少要比原来表面高度高出 3mm 以上，并要沿着轴颈圆周表面均匀施焊（焊接时不能有气孔和夹渣，否则影响修复质量）。冷却后，再用车床按原直径车圆即可。

（2）若轴上有镀铬层被磨损，可在磨损部位焊不锈钢，然后再车削。

（3）轴颈磨损过大，也可采用热压套法，套圈的厚度不要小于 3～4mm，套圈的材料一般选用 35#～45#钢。修理前，首先检查被磨损的轴颈有无发蓝退火现象。如有，应在车床上将其车去，直至没有退火痕迹为止，然后将套圈加热到 100℃趁热套在轴颈上，再车削到需要的尺寸。轴与套圈的装配过盈量和轴径大小有关，轴径大的过盈量大，反之过盈量小。一般ϕ18～ϕ30mm 的轴径，过盈量为 0.04～0.08mm；ϕ30～ϕ50mm 的轴径，过盈量为 0.06～0.10mm；ϕ50～ϕ80mm 的轴径，过盈量为 0.08～0.14mm；ϕ80～ϕ120mm 的轴径，过盈量为 0.12～0.19mm。

6.2.7 电动机绕组重绕

异步电动机定子绕组损坏严重或烧毁，无法用前面介绍的检修方法进行局部修理时，就需要重绕绕组。定子绕组重绕的主要工序是：记录原始数据；拆除旧绕组；绕制线圈；嵌线；接线；检查试验；浸漆与烘干。下面介绍几个主要工序。

训练场 1——原始数据记录

电动机数据实在多，好记性不如烂笔头。拆除旧绕组之前，必须详细记录有关电动机的原始数据，否则，将给重绕定子绕组造成困难。电动机的原始数据包括铭牌数据、绕组数据和铁芯数据及其运行和检查内容，如表 6-23 所示。有些数据可直接从电动机上查出，而有些数据则必须通过测定和计算才能得出。

表 6-23　异步电动机原始数据记录卡

铭牌数据	型号		容量（kW）		相数	
	电压（V）		电流（A）		接法	
	效率		转速（r/min）		绝缘等级	
	允许温升（℃）		转子电流（A）		质量	
	产品编号		制造厂		制造日期	

训练场 2——拆除已损坏绕组

拆除定子绕组的常用方法有 3 种，可根据实际情况选用。

（1）将绕组端部各连接线断开，在一相绕组中通入单相低压大电流加热，当绕组冒烟时，切断电源，趁热拆除绕组，这就是所谓的电流加热法。

（2）用煤气炉、喷灯等加热，或者采用冷拆法直接拆除绕组，如图 6-29 所示。

（3）小型电动机可用溶剂溶解法进行拆除。

注意：在拆除绕组时，应保留一个完整的线圈，如图 6-30 所示。绕组全部取出后，要将槽内清理干净，并修正槽形。



图 6-29　直接取出损坏的绕组

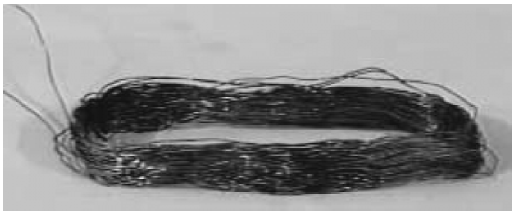
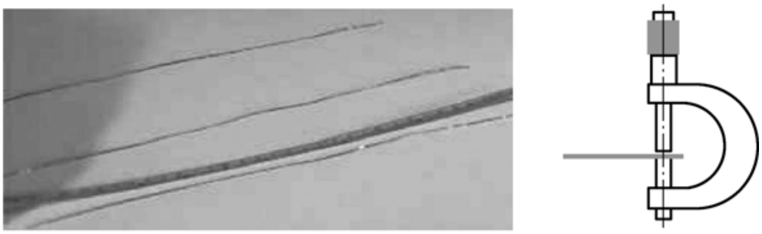


图 6-30　保留一个完整线圈

训练场 3——获取线圈原始数据

根据拆除绕组时保留的完整线圈，获取重新绕制线圈时的数据，如线圈匝数、线模模心周长尺寸、漆包线直径等。取其中三个周长最短的线圈，剪断取平均值，作为线模模心周长尺寸，如图 6-31（a）所示；在测量线径时，应烧去漆皮，用棉纱擦干净，并且应多量几根线，一根导线也应在不同的位置量取 3 次，取平均值，如图 6-31（b）所示。



（a）测量线圈周长　　（b）测量线径

图 6-31　测量线圈的周长及线径

指点迷津——千分尺测量漆包线注意事项

千分尺是一种精密量具，使用时应注意以下几点。

（1）测量前，先把千分尺的两个测量面擦干净，然后转动测力装置——棘轮，使两个测量面轻轻地接触，并且没有间隙，先检查两测量面间的平行度是否良好，再检查零位对准与否。

（2）把漆包线的表面擦干净，以免有脏物影响测量的精度。

（3）测量时用左手准确地握着千分尺的尺架（平端或垂直），右手的两指旋转刻度套管。当两个测量面将要接近被测量漆包线表面时，不要直接旋转刻度套管，而只转动棘轮，以得到固定的测量力。等到转动棘轮而刻度套管不再转动，并听到棘轮发出“咔咔”声时，即可读出要测量的数值。

（4）在读取测量数值时，当心读错 0.5mm，即在固定套管上多读或少读半格（0.5mm）。

（5）为避免测量一次所得结果的误差，可在第一次测量后松开棘轮，重复测量几次，取其平均值。

训练场 4——重绕线圈

定子线圈可在绕线模上绕制。绕线模的结构如图 6-32 所示，绕线模的尺寸可在电工手册中查找（通常可购买成品绕线模，尺寸大小由被修理电动机的功率决定）。小型三相异步电动机的线圈都是在绕线机上用绕线模绕制的，如图 6-33 所示。线圈可以极相组绕制，比较先进的工艺是把属于一相的所有线圈连续绕制，中间不剪断（如图 6-34 所示），把极相组中间的线稍微放长一点，这样就省去了接线这一道工序。

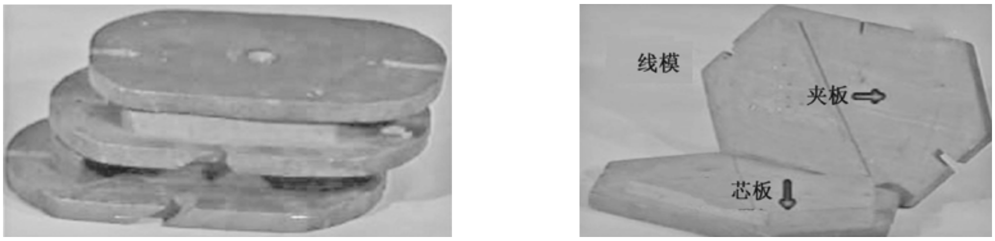


图 6-32　绕线模的结构

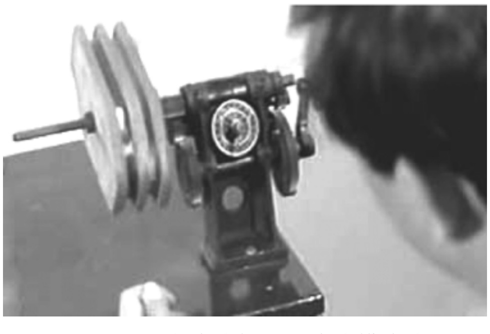


图 6-33　在绕线机上用绕线模绕线圈



图 6-34　连续绕制的线圈

绕制线圈时，导线必须排列整齐，导线绝缘不受损坏。绕制好的线圈要用扎线扎好，以免散开，如图 6-35 所示。

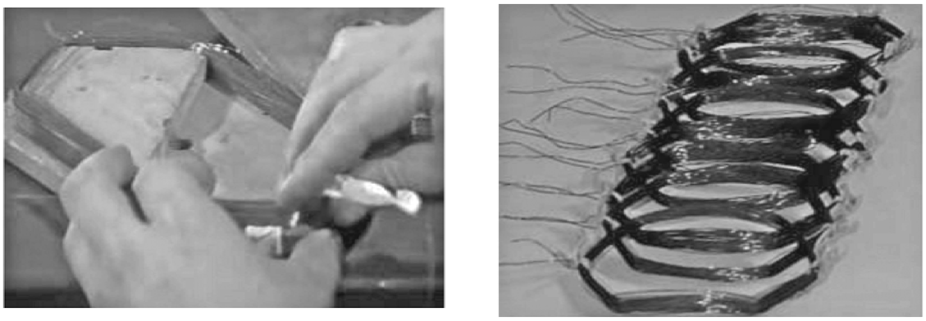
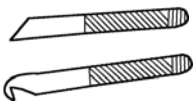
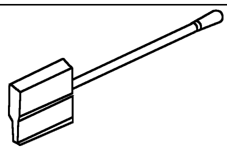
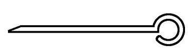
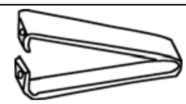
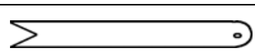


图 6-35　用扎线扎好线圈

中转站——电动机嵌线专用工具

电动机嵌线专用工具见表 6-24。

表 6-24　电动机嵌线专用工具介绍

工　　具	作　　用	形　　状	图　　示
清槽片	是清除电动机定子铁芯槽内残存绝缘物、锈斑等杂物的专用工具	可利用断钢锯条在砂轮上磨成尖头或钩状，尾部用塑料带包扎制成手柄	
划线板	是嵌放线圈时将导线划进铁芯线槽内，以及理顺已嵌入槽里的导线的专用工具	可利用层压树脂板或西餐刀用砂轮磨削制作。尺寸一般长为 150～200mm，宽为 10～15mm，厚约 3mm。头端略尖形，一侧稍薄些，整体表面光滑，以免操作时损伤导线的绝缘	
压线块	是把已嵌入线槽的导线压紧并使其平整的专用工具	用不锈钢或黄铜材料制成，装上手柄，便于操作。尺寸取决于线槽的宽度，配备几种不同规格，依线槽宽度可选择使用	
压线条	又称捅条，是小型电动机嵌线时必须使用的工具。压线条有两个作用：一是利用楔形平面将槽内的部分导线压实或将槽内所有导线压实，压一部分导线是为了方便继续嵌线，而压所有导线是为了便于插入槽楔，封锁槽口；二是配合划线片对槽口绝缘进行折合、封口	一般用不锈钢棒或不锈钢焊条制成，横截面为半圆形，并将头部锉成楔状，便于插入槽口中。最好根据槽形的大小制成不同尺寸的多个压线条，压线条整体要光滑，底部要平整，以免操作时损伤导线的绝缘和槽绝缘	
刮线刀	是用来刮去导线接头上绝缘层的专用工具	刀片可利用一般转笔刀上的刀片，两个刀片用螺钉紧固，或用强力胶粘牢	
裁纸刀	是用来推裁高出槽面的槽绝缘纸的专用工具	一般用断钢锯条在砂轮上磨成	

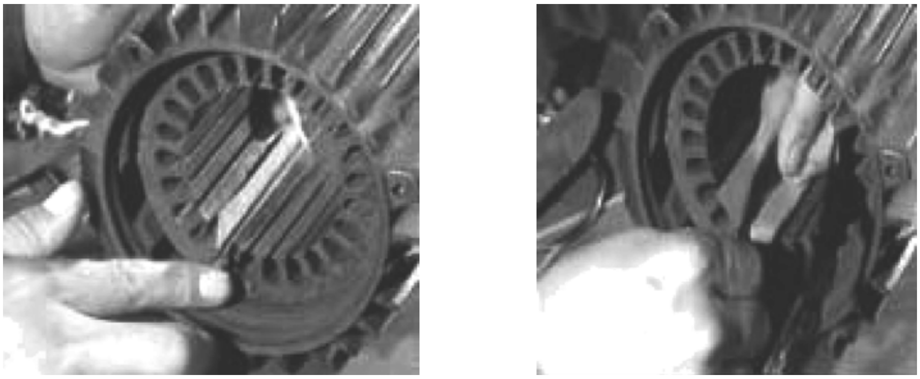
训练场 5——嵌线与接线

嵌线前，要准备好嵌线工具；同时要准备好绝缘材料，如槽绝缘、端部相间绝缘和层间绝缘等，准备好扎线、绑带。

嵌线时，以出线盒为基准来确定第一槽的位置，如图 6-36（a）所示，槽绝缘伸出铁芯的长度，要根据电动机的容量而定。嵌好线圈后，将引槽绝缘纸齐槽口剪平，然后折合封好，如图 6-36（b）所示，再放入竹签，如图 6-36（c）所示。

嵌好一个线圈的一条边后，线圈另一边可先吊起来，在上面垫一张绝缘纸，以免将线圈擦伤，如图 6-36（d）所示。嵌完一个节距的线圈后，即可将先前吊起来的线圈的另一边也放到槽内，并将剩下的线圈依次嵌入。当嵌完最后一个节距的线圈后，就可以把最初吊起的那几个线圈的上层边逐一放下，嵌入相应的槽内，如图 6-36（e）所示。

全部线圈嵌完后，按照接线图将各个极相组连接好，如图 6-36（f）所示。之后，修剪相间绝缘，使其高出线圈 3～4cm；符合要求后，用木板垫在绕组端部，用手锤轻轻敲打绕组上的木板，如图 6-36（g）所示，使绕组两端形成喇叭口，其直径大小要合适。小型电动机在端部整形后，连同引出线用绑线和布带统一包扎好，如图 6-36（h）所示。



（a）确定第一槽的位置并放入线圈

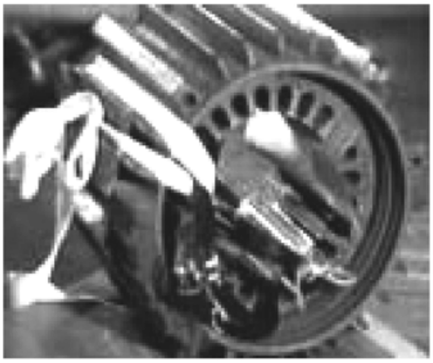


（b）折合封好绝缘纸



（c）放入竹签

图 6-36　嵌线与接线过程



（d）将线圈另一边先吊起来



（e）将线圈上层边放入槽内



（f）连接各个极相组



（g）端部整形



（h）用绑线包扎好端部

图 6-36　嵌线与接线过程（续）

中转站 1——嵌线后的质量检查

在外观检查无问题之后，质量检查的第一步是查绕组有无嵌反。方法是：在三相绕组内通入 60 ~ 100V 三相交流电源，在定子铁芯的内圆上放一只小钢珠（如图 6-37 所示），如果钢珠沿着内圆旋转，表明绕组没有嵌反或者接错；如果钢珠吸住不动，说明绕组可能嵌反或者接错。

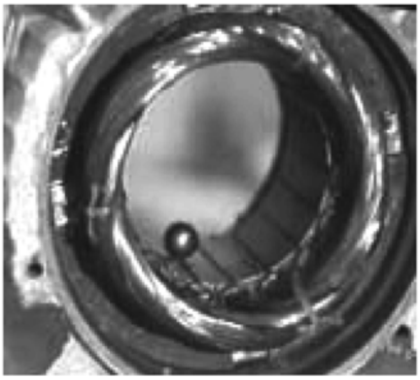


图 6-37　在定子铁芯内圆上放一只小钢珠

如果绕组没有嵌反或者接错，下一步就应该检查其直流电阻是否符合要求，接下来检查绝缘电阻，最后进行耐压测试。

中转站 2——空载试验

所谓空载试验，是指在电动机不带负载时通电运转，以检测某些参数的试验。空载试验时间不应少于 1h，在试验时间里，要观察空载电流的大小（一般在 200mA 左右）及其随着时间的延续是否发生变化，试验期间温升是否正常（注意区分绕组发热和轴承温升），运转中是否有噪声和抖动。

空载运转中，要注意观察电动机转轴的旋转方向，如果电动机反转，一定是主绕组或副绕组中某一个接反，只需把其中一个绕组的两头接线对调即可改变电动机的旋转方向。

在初测过程中，如果发现问题，可以很方便地把绕组拆开检修（因绕组未浸漆）。如果初测合格，即可进行最后的绝缘处理——浸漆。绕组浸漆的目的是增强电动机的电气绝缘强度，提高防潮和耐热性能，改善散热条件，加固绕组端部，防止粘染灰尘。



训练场 6——浸漆与烘干

电动机浸漆工艺主要包括预烘、浸漆和干燥几个步骤。

1）预烘

在浸漆前，必须先对绕组进行预烘，以驱除绕组内的潮气。具体方法如下：从机壳中取出定子铁芯与绕组，置于功率较大的灯泡下或烘箱中（如图 6-38 所示），保持 125～135℃的温度，预烘 4～6h，待测得对地绝缘电阻为 30～50MΩ稳定不变时，预烘结束。

2）浸漆和烘焙

（1）第 1 次浸漆、滴漆。

采用 E 级和 B 级绝缘的定子绕组通常选用 1032 牌号三聚氰胺醇酸树脂漆，稀释溶剂是甲苯或二甲苯，规定二次浸漆。经预烘的定子绕组温度下降至 50～70℃时即可开始浸漆。若温

度过高，则溶剂挥发快，漆膜形成快，绕组内部不易浸透；温度太低，漆的黏度太大，流动性和渗透性都比较差，浸漆效果不好。对于漆的黏度最好按温度调整好，可以参考表 6-25，浸漆时间要大于 15min。以漆中的定子绕组不冒气泡为止，然后将电动机从浸漆槽中取出，垂直放在滴漆槽架上，进行滴漆，滴漆时间应大于 30min。待漆滴干后，可用松节油把铁芯上的漆瘤擦干净。

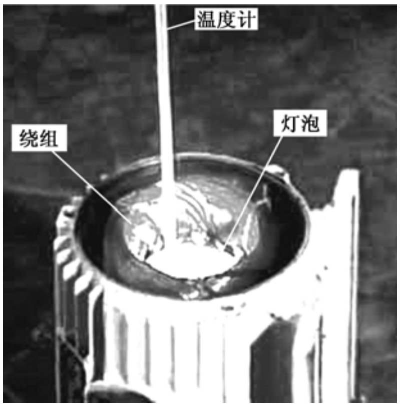


图 6-38　预烘

表 6-25　浸漆温度与漆的黏度对照表

温度（℃）	黏度（s）	温度（℃）	黏度（s）	温度（℃）	黏度（s）
6	80～56	16	45～36	26	33～28
8	72～49	18	42～34	28	31～26
10	64～45	20	38～32	30	29～25
12	56～42	22	36～31	32	28～24
14	49～39	24	34～29	34	26～23

除了沉浸的浸漆方法，还可采用浇漆的方法，此种方法比较适合单台电动机浸漆处理，如图 6-39 所示。先将电动机放在滴漆架上，用漆先浇绕组的一端，经过 20～30min 滴漆后，再浇另一端，要浇得均匀，各处都要浇到，可重复几次。



图 6-39　浇漆

待余漆滴干后，用松节油将定子绕组外其他部分的余漆擦干净。

把浸透绝缘漆的绕组悬空，挂着滴漆 30min 以上。待漆滴干后，用松节油把铁芯擦干净。

（2）第 1 次干燥（烘焙）。

烘焙是为了加速挥发漆中所有的溶剂和水分，使绕组表面形成坚固的漆膜。烘焙过程分为两个阶段。

第一个阶段是低温烘焙，温度控制按绝缘漆等级和电动机的绝缘等级确定。E 级、B 级绝缘温度控制为 110±5℃，时间为 2～4h，这样可使绕组内部的气体排出，溶剂挥发比较慢，绕组表面不会很快形成漆膜。

第二个阶段是高温烘焙，E 级和 B 级绝缘温度控制为 130±5℃，烘焙时间为 4～5h，要求绝缘电阻大于 2MΩ。

值得说明的是，在个体维修店，对中小型电动机，可用灯泡或自制的烘箱来完成烘焙这一工序。

（3）第 2 次浸漆、滴漆。

方法同第 1 次。第 2 次浸漆时间控制在 3～5min，温度控制在 50～70℃，漆的黏度可稠一些，以填充空气隙。

（4）第 2 次干燥（烘焙）。

第 2 次低温烘焙时间控制在 2～3h，温度同前一次。第 2 次高温烘焙时间控制在 4～5h，温度同前一次，要求绕组绝缘电阻大于 1.5～2MΩ后出箱。

在整个烘焙过程中，要求每隔 1h 用兆欧表测量一次绕组的绝缘电阻，在最后 2h，其绝缘电阻应该稳定在 1.5～2MΩ。

将电动机全部装好，重新检测一次，若符合要求，即可投入使用。

指点迷津——电动机浸漆与烘焙注意事项

（1）浸漆前应进行全面的清洁处理。

（2）浸漆前应将机壳上所有的螺钉堵上，以免使总装发生困难。

（3）浸漆前应检查漆的牌号和有效期。

（4）必须重视浸漆和烘焙过程中工艺参数的控制，如漆的黏度调整、温度控制范围、时间控制、浸渍次数和绝缘电阻等。

（5）高温烘焙完成后，在热态时铲除定子内圆等部位的残留漆。槽楔部位的残留漆不应高出铁芯内圆。

（6）定子绕组经绝缘处理后，必须保证绝缘漆浸渍部分漆膜干燥、无皱皮、无脱层和带锯齿现象，绕组端部无损伤，绑扎带无损伤，槽楔完整无缺。

（7）在烘焙过程中，若中途温度下降或绝缘电阻未达到稳定，则应适当延长烘焙时间，待绝缘电阻达到要求后才能出箱。

中转站 1——电动机运转前后的检查项目

电动机运转前后的检查项目见表 6-26。

表 6-26　电动机运转前后的检查项目

检查时机	检查项目
运转前的检查	（1）了解电动机铭牌所规定的事项； （2）电动机是否适应安装条件、周围环境和保护形式； （3）检查接线是否正确，机壳是否接地良好； （4）检查配线规格尺寸是否正确，接线柱是否有松动现象，有无接触不好的地方； （5）检查电源开关、熔断器的容量、规格与继电器是否配套； （6）检查皮带的张紧力是否偏大或偏小，同时要检查安装是否正确、有无偏心，如图 6-40 所示； （7）用手或工具转动电动机的转轴是否转动灵活，添加的润滑油量和材质是否正确； （8）测试绝缘电阻； （9）检查电动机的启动方法； （10）确定电动机的旋转方向
运转后的检查	（1）检查电动机的旋转方向是否正确； （2）在启动加速过程中，电动机有无振动和异常声响； （3）启动电流是否正常，电压降大小是否影响周围电气设备的正常工作； （4）启动时间是否正常； （5）负载电流是否正常，三相电压电流是否平衡； （6）启动装置是否正常； （7）冷却系统和控制系统动作是否正常
运转中的检查	（1）有无不正常的振动和噪声； （2）有无异味和冒烟现象； （3）温度是否正常，有无局部过热； （4）电动机运转是否稳定； （5）三相电流和输入功率是否正常； （6）三相电压、电流是否平衡，有无波动现象； （7）有无其他方面的不良因素； （8）皮带是否振动、打滑



图 6-40　检查传动皮带

中转站 2——电动机例行检查维护项目

电动机例行检查维护的项目见表 6-27。

表 6-27 电动机例行检查维护的项目

检查周期	检查项目
日常检查	（1）外观全面检查，并记录； （2）检查电动机各部分是否有振动、噪声和异常现象，各部分温度是否正常； （3）检查供油系统，润滑轴承； （4）检查通风冷却系统、滑动摩擦状况及各部分紧固状况
每月或定期巡回检查	（1）外观全面检查，并记录； （2）检查各部分松动情况（如开关、配线、接地装置等）及接触情况； （3）有无破损部位，并提出处理计划和措施； （4）检查粉尘堆积情况，要及时清扫； （5）检查引出线和配线是否有损伤、老化的问题； （6）各部分连接状态是否良好； （7）绝缘电阻情况
每年检查	除上述内容外，还要检查轴承和更换润滑脂，如图 6-42 所示；必要时要解体电动机进行抽芯检查；检查绝缘电阻，进行干燥处理；检查零部件生锈及腐蚀情况等

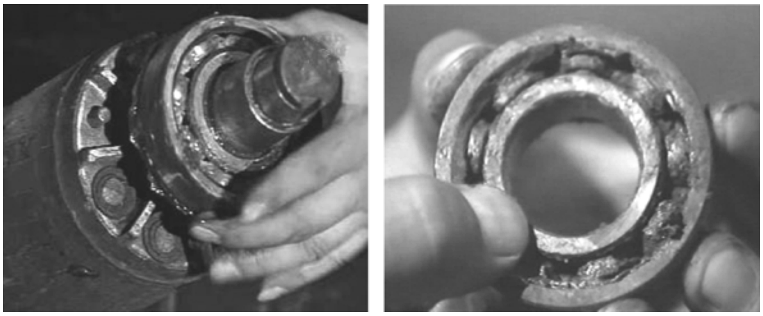


图 6-41 检查轴承

6.3 小型直流电动机常见故障维修

直流电动机按励磁方式分为永磁、他励和自励 3 类，其中自励又分为并励、串励和复励 3 种。直流电动机因其调速性能好和启动力矩大而在电力拖动中得到广泛应用，凡是在重负载下启动或要求均匀调节转速的机械，如大型可逆轧钢机、卷扬机、电力机车、电车等，都用直流电动机拖动。

6.3.1 小型直流电动机的运行与维护

加油站——直流电动机使用前的检查

（1）清扫电动机内部的灰尘、电刷粉末等，清除污物及杂质。

（2）拆除与电动机连接的一切接线，检查电动机绕组对机壳的绝缘电阻，如图 6-42 所示，电阻不得低于 0.5MΩ，若小于 0.5MΩ，需要烘干后再使用。

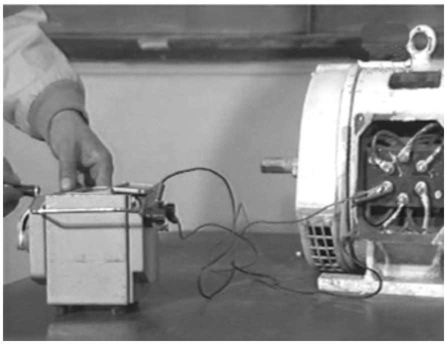


图 6-42 检查电动机绕组对机壳的绝缘电阻

（3）检查电刷是否因磨损而太短，刷握的压力是否适当，刷架的位置是否符合规定，如图 6-43 所示。

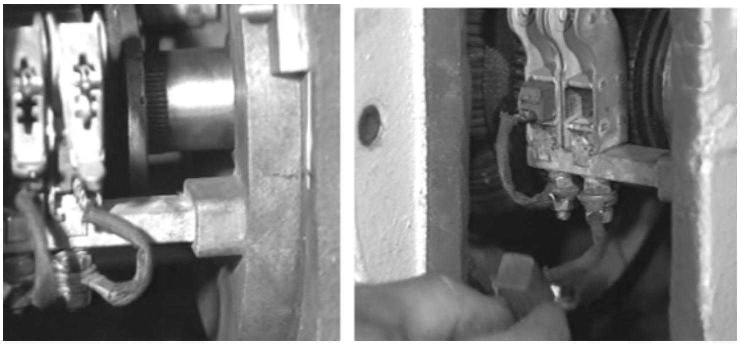


图 6-43 检查电刷

（4）检查换向器表面是否光洁，若发现有机械损伤或火花烧灼痕，应及时对换向器进行维修及表面处理。

（5）电动机运转时，应注意测量轴承温度，并倾听其转动声音（如图 6-44 所示），若有异常也应及时进行处理。



图 6-44 倾听电动机转动声音

下面介绍直流电动机的启动和制动。

直流电动机有以下 3 种启动方法。

（1）直接启动。直接启动不需要附加启动设备，操作简便，但主要缺点是启动电流很大。一般直接启动只适用于功率不大于 1kW 的电动机。

（2）电枢回路串联电阻启动。在电枢回路内串入启动电阻，以限制启动电流。这种启动方法适用于任何规格的直流电动机，但是启动过程中能量消耗较大，因此不适用于中大型电动机。

（3）降压启动。用降低电源电压的方法来限制启动电流。这种方法适用于采用他励方式的电动机。

直流电动机的制动通常采用使电磁转矩反向的方法来进行电磁制动。

训练场——直流电动机的日常维护

直流电动机在运行过程中，应按运行规定的要求经常检查电动机的工作状况，对换向器、电刷装置、通风系统及绕组绝缘等部位要重点加以维护。加强日常维护检查，是保证电动机安全运行的关键。

（1）电动机应经常清理，保持清洁，防止油污、水等进入内部。

（2）换向器的维护。如图 6-45 所示，换向器的表面应很光洁，正常的换向器长期运转后，表面会产生一层坚硬的深褐色薄膜，呈现古铜色，颜色分布均匀。这层薄膜可保护换向器表面不受磨损，因此要保留这层薄膜。如果发现换向器表面不正常，有严重的烧灼痕、粗糙不平或局部有凹凸现象时，应进行维修及表面处理。

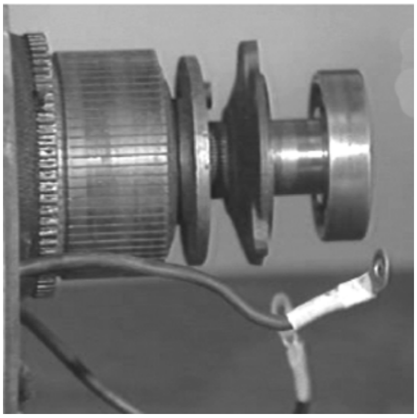
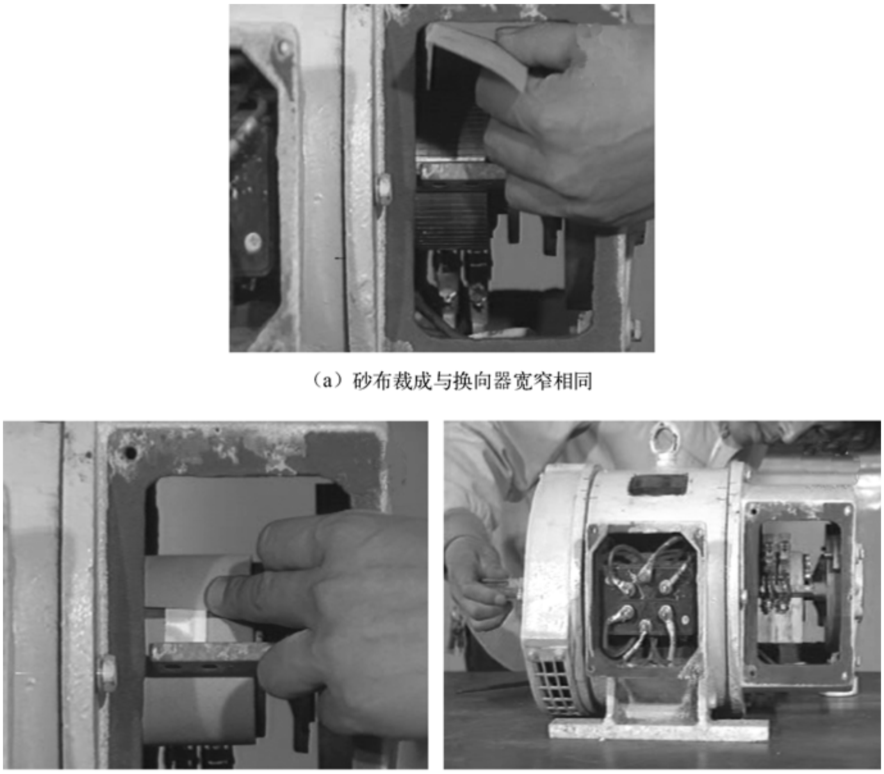


图 6-45　检查换向器

（3）电刷工作的检查。对于换向正常的电动机，电刷与换向器表面接触的工作面呈现平滑、明亮的“镜面”。电刷与刷握的配合不宜过紧，且须留有不大于 0.5mm 左右的间隙。当电刷工作面出现磨损或碎裂现象时，须换一个相同规格的电刷，新电刷装配好后应研磨光滑，使电刷工作面呈“镜面”。

更换电刷时，应先在电刷安装之前打磨电刷的工作面，使其工作面圆弧与换向器表面外圆相符；然后将 0 号长砂布围紧在换向器表面，将电刷放在刷盒内，安装好，并调好弹簧压力，使电刷压在砂布上；最后转动换向器，让砂布研磨电刷工作面，如图 6-46 所示。研磨后，取下长砂布，用压缩空气吹净换向器，并将炭粉吹干净。



（a）砂布裁成与换向器宽窄相同

（b）将砂布裹在换向器上　　（c）转动换向器研磨电刷

图 6-46　打磨电刷的工作面

（4）通风冷却系统的检查。通风冷却系统出现故障会使电动机温升增高。所以要仔细检查过滤器是否堵塞，冷却空气是否干燥清洁，进风速度、空气湿度是否符合规定要求及电动机内部灰尘是否影响了电动机的散热，冷却水是否正常等。

6.3.2　直流电动机常见故障分析与检修

加油站——直流电动机常见故障原因

直流电动机常见故障原因分析见表 6-28。

表 6-28　直流电动机常见故障原因分析

故 障 现 象	故障原因分析
发电机的电压不能建立	（1）并励绕组接反或并励绕组极性不能调换； （2）并励绕组电路不通； （3）并励绕组短路； （4）并励绕组与换向绕组、串励绕组间短路； （5）励磁电路中电阻过大； （6）转子旋转方向错误； （7）转子转速太慢；

续表

故 障 现 象	故障原因分析
发电机的电压不能建立	（8）刷架位置不对； （9）剩磁消失（另用直流电通入并励绕组重新产生剩磁）； （10）输出电路中有两点接地造成短路； （11）电刷过短，接触不良； （12）电枢绕组短路或换向片间短路
电刷下火花过大	（1）电刷磨损过量，或电刷上弹簧压力不均匀，或电刷型号不符合要求，或电刷与刷握配合不当； （2）电刷与换向器接触不良（重新研磨电刷，并使其在半负载下运转 1h）； （3）刷握松动，或刷杆装置不等分（可利用换向片作为基准重新调整刷杆间的距离）； （4）刷握离换向器表面距离过大（一般调整到 2～3mm）； （5）刷杆偏斜（可利用换向器云母槽作为标准，来调整刷杆与换向器的平行度）； （6）换向器表面不光洁，或换向器偏摆，或换向器表面有电刷粉、油污等引起环火，或换向器片间云母凸出或片间云母未刮净； （7）刷间中心位置不对，或电动机长期超载； （8）换向极绕组匝数不够，或换向极极性接错（用指南针检查换向极极性，若极性不对，应重新接线）； （9）换向极绕组短路（用电桥测量电阻，若有短路应衬垫绝缘材料或重新绕制）； （10）电枢绕组断路（换向器云母槽中有严重烧伤现象，应拆开电动机，用毫伏表找出电枢绕组断路处），或电枢绕组或换向器短路（检查云母槽中有无铜屑，或通过用毫伏表测量换向片间电压降的方法检查出短路处）； （11）电枢绕组和换向片脱焊； （12）电枢绕组中有部分线圈接反； （13）电压过高
电动机转速不正常	（1）电源电压过高、过低或波动过大； （2）电刷接触不良，或刷架位置不对（调整刷架位置，需正、反转的电动机，刷架位置应调在中性线上）； （3）串励电动机轻载或空载运行； （4）电枢绕组短路； （5）复励电动机中串励绕组接反； （6）电动机中部分并励绕组断线或并励绕组极性接错
电动机漏电	（1）有电刷灰和其他灰尘的堆积； （2）引出线碰壳； （3）电动机受潮，绝缘电阻下降（进行烘干处理）； （4）电动机绝缘老化
电动机不能启动	（1）电源未能真正接通，或电动机接线板的接线错误； （2）电刷接触不良或换向器表面不清洁（重新研磨电刷，检查刷握弹簧是否松弛或整理换向器云母槽），或电刷位置移动； （3）启动时负载过大，或磁极螺栓未拧紧或气隙过小； （4）电路两点接地； （5）轴承损坏或有杂物卡死； （6）启动电流太小（启动电阻太大，应更换合适的启动器，或改接启动器内部接线）； （7）线路电压太低； （8）直流电源容量过小
发电机电压过低	（1）他励绕组极性接反； （2）主磁极原有垫片未垫，气隙过大；

续表

故 障 现 象	故障原因分析
发电机电压过低	（3）传动带过松或负载过重； （4）串励绕组和并励绕组相互接错（在小电动机中可能出现此情况，应拆开重新接线）； （5）原动机转速低； （6）复励电动机中串励绕组接反； （7）刷架位置不对（调整刷架位置，应使刷间电压最高）
轴承过热	（1）润滑油变质； （2）轴承室中润滑油加得太少，引起滚珠与滚道干磨发热，或轴承室中润滑油加得过多，或轴承中夹有杂物； （3）挡油圈有毛刺与轴承盖相擦； （4）轴承与轴承挡或轴承与端盖轴承室配合过松； （5）轴承磨损过大或轴承内圈、外圈破裂； （6）运转时电动机振动； （7）联轴器安装不当； （8）传动带太紧； （9）所选用的轴承型号不对，或轴承未与轴肩贴合
电动机温升过高	（1）长期过载； （2）未按规定运行； （3）斜叶风扇的旋转方向与电动机旋转方向不配合； （4）风道阻塞或外通风量不够
电枢过热	（1）电枢绕组或换向器片短路（用压降法测定，排除短路点，如果严重短路，要拆除重新绕制）； （2）电枢绕组中部分线圈的出线端接反； （3）换向极接反（调整换向绕组引线端，消除换向火花）； （4）定子与转子相擦； （5）电动机的气隙不均匀，相差过大，造成绕组内电流不均衡； （6）叠绕组中均压线接错； （7）电动机负载短路或电动机端电压过低
电动机振动	（1）电枢平衡未校好； （2）检修时风叶装错位置或平衡块移动； （3）转轴变形； （4）配套时联轴器未校正或安装地基不平
磁场绕组过热	（1）并励绕组局部短路； （2）发电机气隙太大（拆开，调整气隙并垫入钢片）； （3）复励发电机负载时电压不足，调整电压后励磁电流过大（该电机串励绕组极性接反，应重新接线）； （4）发电机转速太低



训练场 1——直流电动机检修一

某一台 AX7-500 型直流电焊机，修理时更新了异步电动机定子绕组，直流发电机未改动。但修后试车，空载电压高至 110V，焊接时电流很大，无法调小。

经检查，发现直流发电机的励磁电源有问题。原来励磁电源引自异步电动机一相绕组的抽头线，经整流后供给发电机励磁。一相绕组共有 6 只线圈串联，而抽头线应靠近星形接点第二

只线圈。因此，交流电压为 220V×2/6＝73V。但在修理时，未注意发电机的励磁电源线抽头，接线时误将交流 220V 电压经桥式整流后供发电机励磁，因此修后一试车，焊接电流太大，不能使用。

为消除上述故障，用一只单相调压器来调节发电机的励磁电压。直流发电机的空载电压可以调节，以为故障消除了。但一试焊，仍然出现很大的焊接电流，ϕ5mm 的电焊条也会烧红。即使将发电机的空载电压调至 3V 左右，情况也未好转。经进一步检查，发现异步电动机拖动直流发电机的转向与所标的转向相反，串激绕组的去磁作用变为增磁作用，使发电机输出电压升高，焊接电流进一步增大，从而形成了恶性循环，致使焊条发红，工件烧坏。这就是发电机虽只有 3V 空载电压，却仍出现很大焊接电流的原因。改正异步电动机的转向后，上述故障消除。



训练场 2——直流电动机检修二

另一台 AX7-500 型直流电焊机也大修了异步电动机，发电机未动。在修理过程中，注意到上面所述异步电动机抽头线的引出和电机引线问题，但修后试焊，也出现焊接电流大的问题。发电机空载电压高至 100V 以上。经解体检查才发现，异步电动机的抽头线虽然引出，但位置不对。抽头线应靠近星形接点第二只线圈，而实际靠近电源第二只线圈。这样，励磁整流电源的交流电压实为 220V×4/6≈146V，高出 1 倍，结果造成直流发电机空载电压很高、焊接电流很大的故障。纠正抽头线的位置，故障排除。

指点迷津

上述两例说明，在修理直流电焊机时，要注意励磁电源线的正确接线，以及电动机的转向。

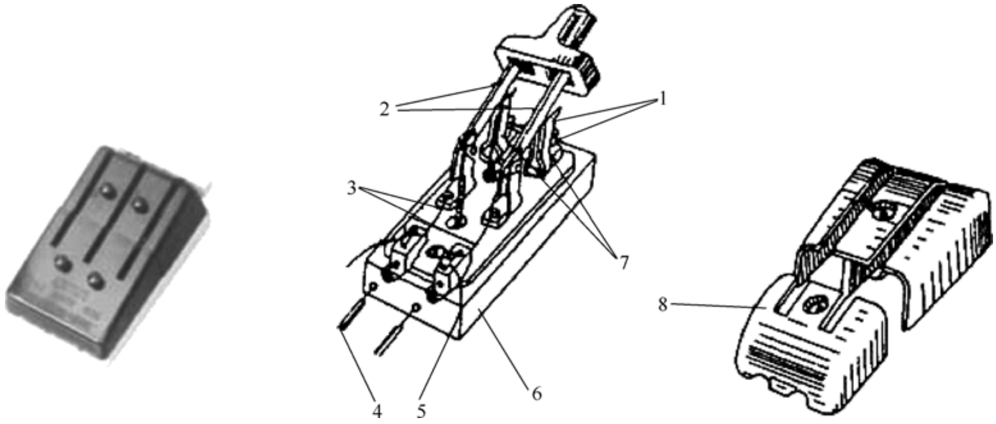
第 7 章　常用低压电器的检修

7.1　刀开关的检修

7.1.1　刀开关简介

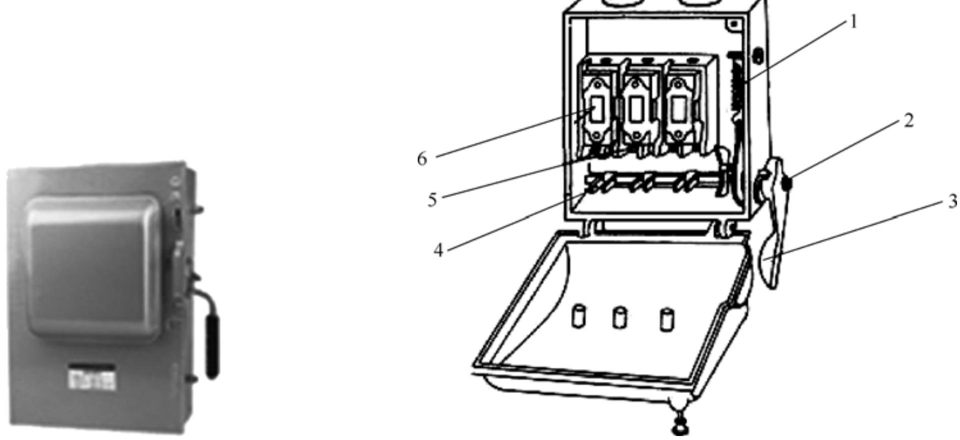
加油站 1——刀开关的结构

常用的刀开关主要有胶盖刀开关（又称为开启式负荷开关）和铁壳开关（又称为封闭式负荷开关）两种，其结构如图 7-1 所示。



1—电源进线座；2—动触头；3—熔丝；4—负载线；5—负载接线座；6—瓷底座；7—静触头；8—胶木片

（a）胶盖刀开关



1—速断弹簧；2—转轴；3—手柄；4—闸刀；5—夹座；6—熔断器

（b）铁壳开关

图 7-1　刀开关的结构

刀开关在分断有负载的电路时，其触刀与插座之间会产生电弧。为此采用速断刀刃的结构，使触刀迅速拉开，加快分断速度，保护触刀不致被电弧所灼伤。对于大电流刀开关，为了防止各极之间发生电弧闪烁，导致电源相间短路，刀开关各极间设有绝缘隔板，有的设有灭弧罩。

加油站 2——胶盖刀开关的作用

胶盖刀开关又称为开启式负荷开关，一般简称刀开关，它是一种结构简单，价格低廉，安装、维修方便，使用最普遍的低压开关。胶盖刀开关不能及时切断故障电流，只能承受故障电流引起的电流热效应。熔断器式胶盖刀开关留有安装熔丝的位置，其短路分断能力由安装的熔断器的分断能力决定。此时，胶盖刀开关就具有一定的短路保护作用。其主要有以下两个方面的用途。

（1）用于电压为 220V 或 380V、电流在 60A 以下的交流低压电路，以及不频繁接通和分断电路作为控制开关。

（2）用于将电路与电源隔离，作为线路或设备的电源总闸（如对照明、电热负载及小功率电动机等电路的控制）。

加油站 3——铁壳开关的作用

铁壳开关又称为封闭式负荷开关，其灭弧性能、操作性能、通断能力和安全防护性能都优于胶盖刀开关，适用于不频繁的接通和分断负载电路，并能作为线路末端的短路保护，也可用来控制 15kW 以下交流电动机的不频繁直接启动及停止。

铁壳开关具有以下特点。

（1）采用了储能分合闸方式，提高了开关的通断能力，延长了使用寿命。

（2）设置了联锁装置（即外壳门机械闭锁），开关在合闸状态时，箱盖外壳门不能打开；在箱盖打开时，开关无法接通，以确保操作安全。

7.1.2 铁壳开关的检修

训练场 1——铁壳开关的检修

铁壳开关常见故障及检修方法见表 7-1。

表 7-1 铁壳开关常见故障及检修方法

故障现象	产生原因	检修方法
合闸后有一相或两相没电	（1）底座弹性消失或开口过大； （2）熔丝熔断或接触不良； （3）底座、动触头氧化或有污垢； （4）电源进线或出线头氧化	（1）更换底座； （2）更换熔丝； （3）清洁底座或动触头； （4）检查进出线头
动触头或底座过热或烧坏	（1）开关容量太小； （2）分、合闸时动作太慢造成电弧过大，烧坏触头； （3）底座表面烧毛； （4）动触头与底座压力不足； （5）负载过大	（1）更换较大容量的开关； （2）改进操作方法； （3）用细锉刀修整； （4）调整底座压力； （5）减轻负载或调换较大容量的开关
操作手柄带电	（1）外壳接地线接触不良； （2）电源线绝缘损坏碰壳	（1）检查接地线； （2）更换导线

训练场 2——胶盖刀开关的检修

胶盖刀开关常见故障及检修方法见表 7-2。

表 7-2　胶盖刀开关常见故障及检修方法

故障现象	产生原因	检修方法
熔体熔断	（1）若熔体的有效部分已经全部消失，只是两端螺钉紧固处各残存一小圈，这表明是短路电流造成熔体熔断。短路电流通常可达熔体额定电流的几倍甚至几十倍，而熔体在单位时间内产生的热量又与电流的平方成正比，瞬间内产生大量的热量，因此熔体有效部分必然立即熔化并蒸发掉。 （2）若熔体只在中间部位缺了一小段，这表明是负载过重造成熔体熔断。负载过重时，电流增大，致使熔体过热，而熔体的中间部位离两端螺钉紧固处最远，轴向导热最差，其温度最先达到熔点，因此熔体必然在中间部位熔断。 （3）若熔体只是在某端紧固螺钉附近缺了很小一段，这表明是其他原因造成的熔断，如熔体被压伤使该处截面积减小，熔体连接不良使接触电阻过大，引出线紧固螺钉松动使引出线座严重发热等	（1）首先排除线路中的短路故障，再更换熔体。 （2）减少线路中的负载，再更换熔体。或者在刀开关额定容量允许的情况下用额定电流大一点的熔体更换。 （3）更换新垫片后再更换新熔体，操作时应注意施工工艺符合规范
开关烧坏，螺丝孔内沥青熔化	（1）刀片与底座插口接触不良。 （2）开关压线固定螺钉未压紧。 （3）刀片合闸时合得过浅	（1）断开电源，用钳子修整开关底座口片使其与刀片接触良好。 （2）重新压紧固定螺钉。 （3）改变操作方法，每次合闸时用力把闸刀合到位
开关漏电	（1）开关严重受潮。 （2）开关长时间工作于油污、导电粉尘环境中	（1）拆下开关进行烘干处理后再装上使用。 （2）改善开关的工作环境条件，可采用防护箱把开关保护起来
拉闸后刀片及开关下桩头仍带电	（1）进线与出线上下接反。 （2）开关倒装或水平安装	（1）更正接线方式，必须是上桩头接入电源进线，下桩头接负载端。 （2）禁止倒装和水平装设胶盖刀开关

7.2　低压断路器的检修

7.2.1　低压断路器简介

加油站 1——低压断路器的作用

低压断路器俗称自动空气开关或空气开关，是一种不仅可以接通和分断正常负荷电流与过负荷电流，还可以接通和分断短路电流的开关电器。

低压断路器在电路中除起控制作用外，还具有一定的保护功能，如过负荷、短路、欠压和漏电保护等。

低压断路器还可用于不频繁启动电动机或接通、分断电路。当它们发生严重的过载或者短路及欠压等故障时能自动切断电路，其功能相当于熔断器式开关与过（欠）热继电器等的组合，而且在分断故障电流后一般不需要变更零部件。

低压断路器广泛应用于低压配电系统的各级馈出线，各种机械设备的电源控制和用电终端的控制和保护。

加油站 2——低压断路器的分类

低压断路器的分类方式很多，见表 7-3。

表 7-3　低压断路器的分类

分类方法	种　类	说　明
按使用类别分	选择型	保护装置参数可调
	非选择型	保护装置参数不可调
按灭弧介质分	有空气式和真空式	目前国产多为空气式断路器
按结构分	框架式	大容量断路器多采用框架式结构
	塑料外壳式	小容量断路器多采用塑料外壳式结构
按用途分	导线保护用断路器	主要用于照明线路和保护家用电器，额定电流的范围为 6～125A
	配电用断路器	在低压配电系统中做过载、短路、欠电压保护之用，也可用作电路的不频繁操作，额定电流一般为 200～4 000A
	电动机保护用断路器	在不频繁操作的场合，用于操作和保护电动机，额定电流一般为 6～63A
	漏电保护断路器	主要用于防止漏电，保护人身安全，额定电流多在 63A 以下
按性能分	普通式	—
	限流式	一般具有特殊结构的触头系统

加油站 3——常用低压断路器的结构和功能特点

1）普通塑壳断路器

普通塑壳断路器也称为装置式断路器，它具有过载、短路、失压 3 种自动保护功能。

普通塑壳断路器适用于交流电压为 500V、直流电压为 440V 以下的电气设备。在正常情况下，可用作供电线路的保护开关，也可用于电动机的不频繁启动、停止控制和保护，还可用于照明系统的控制开关。

普通塑壳断路器的结构及原理如图 7-2 所示。这种小型断路器依靠双金属片获得短延时作用，它由两个回路组成，主触头放置于主回路上。它可由操作机构操作，在短路故障下，由冲击电磁铁推动，辅助回路由短延时双金属片、限流电阻和辅助触头组成。断路器还有长延时双金属片做过载保护用。当短路电流通过时，冲击电磁铁打击主触头，使之断开。这时电流就转移到辅助回路，但辅助回路有限流电阻，使短路电流限至几百安培，短延时双金属片提供短延时作用，当后一级小型断路器限流开断，则复位弹簧使主触头重新闭合，使之不影响下一级其

他分支回路供电，若后一级小断路器不能动作，则经过短延时双金属片延时后，使断路器操作机构动作，同时打开主触头和辅助触头。正常情况下，操作机构同时操作主、辅回路触头的合分，由于正常运行时辅助回路电阻大，电流主要通过主回路来导通。小型断路器在短路故障时只有短路短延时特性，相当于把瞬时脱扣器关断，所以它与后一级小断路器的配合是全选择性的。

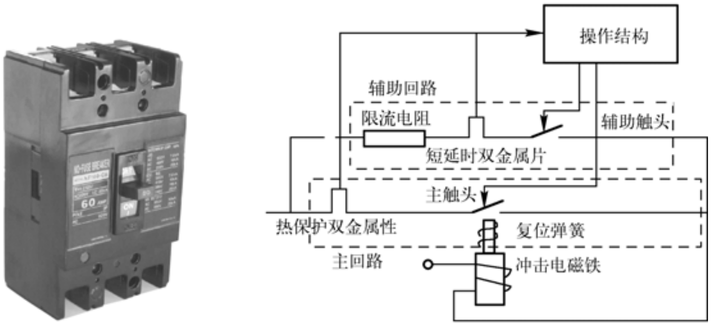


图 7-2　普通塑壳断路器的结构及原理

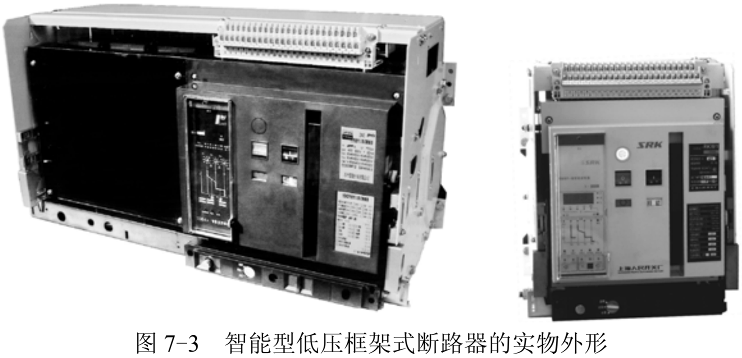
这里所说的“开断”和“关断”，是针对采用限流分断新技术的断路器的专用术语，这种断路器采用新型电力电子器件（如绝缘栅双极晶体管、可关断晶体管等），灭弧室采用多个灭弧栅片，与一般断路器采用的结构有所不同。“开断”的定义是在通电状态下，用于回路的分操作，它相当于一般断路器“分断”的意思；“关断”是用于描述断路器内部器件工作状态的术语，“关断”与“导通”的状态相反。

2）框架式断路器

框架式断路器又称为万能式断路器，主要用于低压电路中不频繁接通和分断容量较大的电路，也可用于 40～100kW 电动机不频繁全压启动并对电路起过载、短路和失压保护作用。

框架式断路器的操作方式有手柄操作、杠杆操作、电磁铁操作和电动机操作 4 种。额定电压为 380V，额定电流有 200A、400A、600A、1 000A、1 500A、2 500A 和 4 000A 等几种。

智能型低压框架式断路器如图 7-3 所示，主要由操作机构、绝缘体、触头系统、灭弧系统、储能电机、智能保护单元、附件（分励、欠压、辅助、合闸线圈等）7 大部分组成。


图 7-3　智能型低压框架式断路器的实物外形

智能型低压框架式断路器有固定式和抽屉式之分，把固定式断路器本体装入专用的抽屉就成为抽屉式断路器。

3）漏电保护断路器

漏电保护断路器又称为漏电保护开关，具有漏电、触电、过载、短路等保护功能，主要用

来对低压电网直接触电和间接触电进行有效保护，也可以作为三相电动机的缺相保护。它有单相的，也有三相的。

漏电保护断路器主要由试验按钮、操作手柄、漏电指示和接线端几部分组成，如图 7-4 所示。

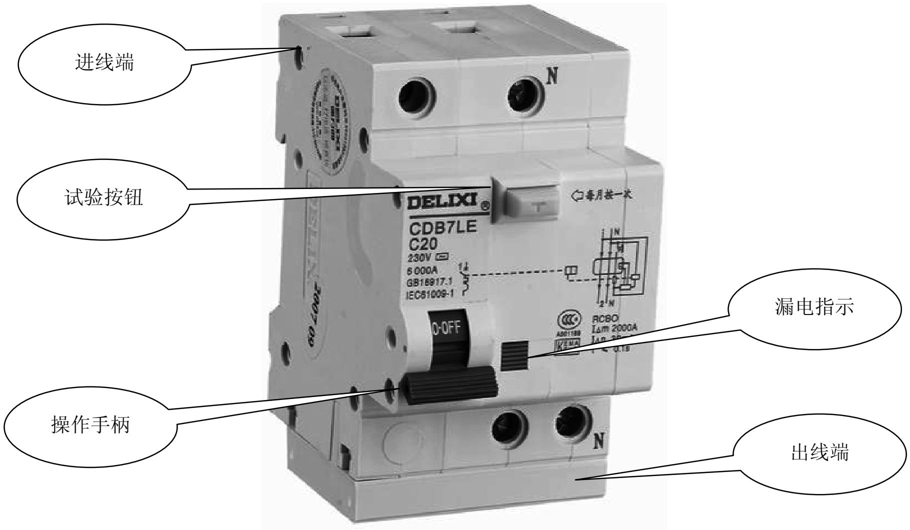


图 7-4　单相漏电保护断路器

漏电保护断路器与其他断路器一样可将主电路接通或断开，而且具有对漏电流检测和判断的功能。当主回路中发生漏电或绝缘破坏时，漏电保护开关可根据判断结果将主电路接通或断开。它与熔断器、热继电器配合可构成功能完善的低压开关元件。

7.2.2　低压断路器的检修

训练场 1——低压断路器的检测

检测低压断路器时，可以通过万用表 R×10 挡测量其各组开关的电阻值来判断其是否正常，如图 7-5 所示。

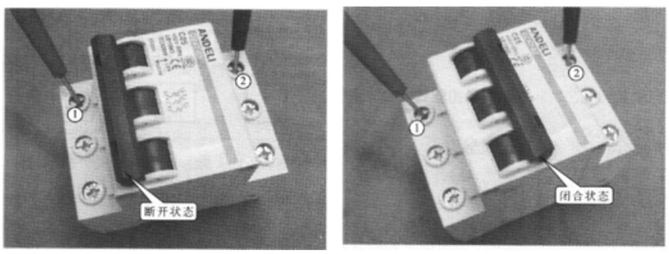


图 7-5　万用表检测低压断路器

若测得低压断路器的各组开关在断开状态下其阻值均为无穷大，在闭合状态下均为零，则表明该低压断路器正常；若测得低压断路器的开关在断开状态下其阻值为零，则表明低压断路

器内部触点粘连损坏；若测得低压断路器的开关在闭合状态下其阻值为无穷大，则表明低压断路器内部触点断路损坏。测得低压断路器内部的各组开关有任一组损坏，均说明该低压断路器损坏。



训练场 2——低压断路器常见故障检修

低压断路器常见故障原因及检修方法见表 7-4。

表 7-4　低压断路器常见故障原因及检修方法

故障现象	故障原因	检修方法
手动操作断路器不能闭合	（1）欠电压脱扣器无电压或线圈损坏； （2）储能弹簧变形，导致闭合力减小； （3）反作用弹簧力过大； （4）机构不能复位再扣	（1）检查线路，施加电压或更换线圈； （2）更换储能弹簧； （3）重新调整弹簧反力； （4）调整机构的再扣接触面至规定值
电动操作断路器不能闭合	（1）电源电压不符合规定； （2）电源容量不够； （3）电磁拉杆行程不够； （4）电动机操作定位开关移位； （5）控制器中整流管或电容器损坏	（1）更换电源； （2）增大操作电源容量； （3）重新调整电磁拉杆的行程； （4）重新调整操作定位开关； （5）更换损坏元件
一相触头不能闭合	（1）普通型断路器的一相连杆断裂； （2）限流断路器斥开机构的可折连杆的角度变大	（1）更换连杆； （2）调整至技术条件规定值
分励脱扣器不能使断路器分断	（1）线圈短路； （2）电源电压太低； （3）再扣接触面太大； （4）螺钉松动	（1）更换线圈； （2）设法提高电源电压； （3）重新调整； （4）拧紧螺钉
欠电压脱扣器不能使断路器分断	（1）反力弹簧变小； （2）储能弹簧变形或断裂； （3）机构卡死	（1）调整弹簧； （2）调整或更换储能弹簧； （3）消除机构卡死原因，如生锈等
启动电动机时断路器立即分断	（1）过电流脱扣电流整定值太小； （2）脱扣器某些元件损坏，如半导体橡皮膜等； （3）脱扣器反力弹簧断裂或落下	（1）重新调整脱扣电流整定值； （2）更换已损坏元件； （3）重新安装或更换反力弹簧
断路器闭合后经一定时间自行分断	（1）过电流脱扣器长延时整定值不对； （2）热元件或半导体延时电路元件参数变动	（1）调整触头压力或更换弹簧； （2）更换触头或清理接触面，若故障不能排除则更换整台断路器
断路器温升过高	（1）触头压力降低； （2）触头表面磨损严重或接触不良； （3）电源进入的主导线连接螺钉松动	（1）拨正或重新装好接触桥； （2）更换转动杆或更换辅助开关； （3）检修主导线的接线鼻，让导线在接线鼻上压紧
欠电压脱扣器噪声大	（1）反力弹簧压力太大； （2）铁芯工作面有油污； （3）短路环断裂	（1）重新调整弹簧压力； （2）清除油污； （3）更换衔铁或铁芯
辅助开关不通	（1）辅助开关的动触桥卡死或脱离； （2）辅助开关传动杆断裂或滚轮脱落； （3）触头未接触或氧化	（1）拨正或重新装好动触桥； （2）更换传动杆或更换辅助开关； （3）调整触头，清理氧化膜
带半导体脱扣器的断路器误动作	（1）半导体脱扣器元件损坏； （2）外界电磁干扰	（1）更换损坏元件； （2）清除外界干扰，如临近的大型电磁铁的操作，接触器的分断、电焊等，进行隔离或使两者的距离远一些

7.3　转换开关的检修

7.3.1　转换开关简介

加油站 1——转换开关的结构

转换开关又称为组合开关，也属于一种刀开关（它的刀片即动触片是可以转动的）。它由装在同一转轴上的多个单极旋转开关叠装在一起组成，其结构如图 7-6 所示。当转动手柄时，动片即插入相应的静片中，使电路接通。

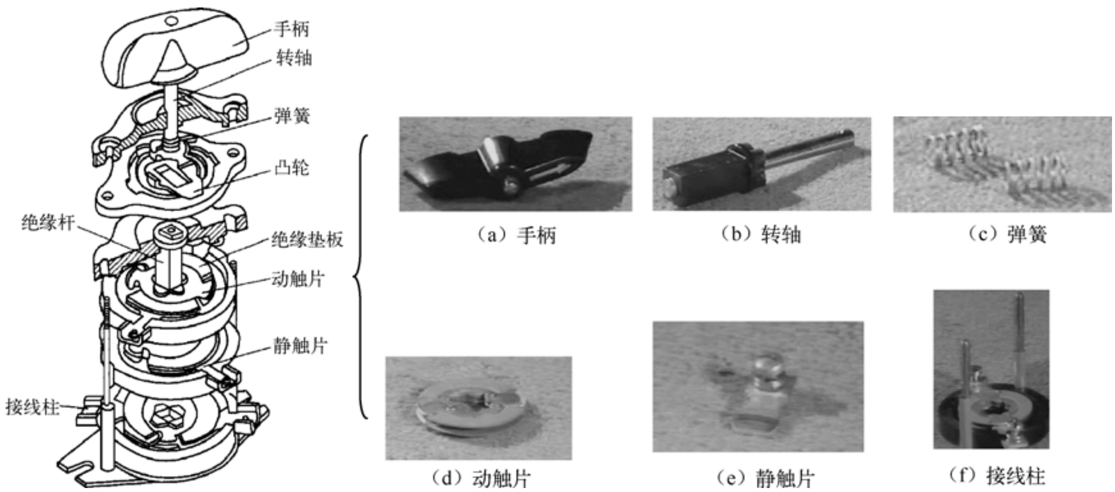


图 7-6　转换开关的结构

图 7-6 中的转换开关内部有 3 对静触点，分别用 3 层绝缘板相隔，各自附有连接线路的接线柱，3 个动触点互相绝缘，与各自的静触点对应，套在共同的绝缘杆上。绝缘杆的一端装有操作手柄，手柄每次转动 90° 角，即可完成 3 组触点之间的开合或切换。开关内装有速断弹簧，用来加速开关的分断速度，如图 7-7 所示。

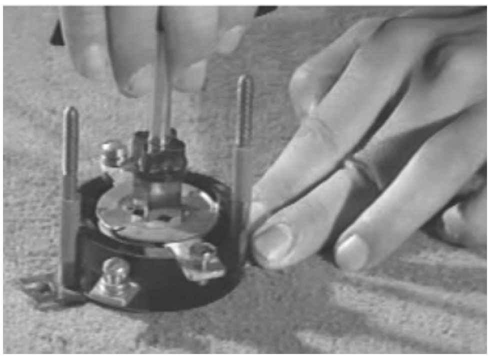


图 7-7　手柄转动带动动触片转动

转换开关手柄的操作位置是以角度表示的，不同型号的转换开关，其手柄有不同的操作位置，如图 7-8 所示。

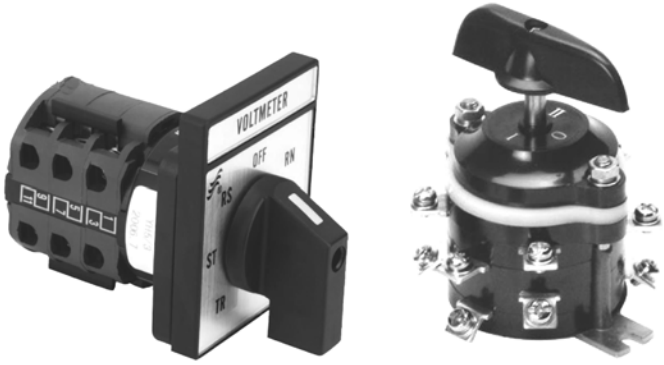


图 7-8　转换开关手柄的操作位置

加油站 2——转换开关的作用

转换开关在电气控制线路中可作为隔离开关使用，可以不频繁接通和分断电气控制线路。转换开关体积小、接线方式多，使用非常方便，在机床电气和其他电气设备中使用广泛。

（1）转换开关适用于交流 380V 以下及直流 220V 以下的电气线路中，供手动不频繁的接通和断开电路、转换电源和负载（每小时的转换次数不宜超过 20 次）。

（2）转换开关用于控制 5kW 以下的小容量交、直流电动机的正反转、Y-△启动和变速换向等。

（3）转换开关可使控制回路或测量回路线路简化，可在一定程度上避免操作上的失误和差错。

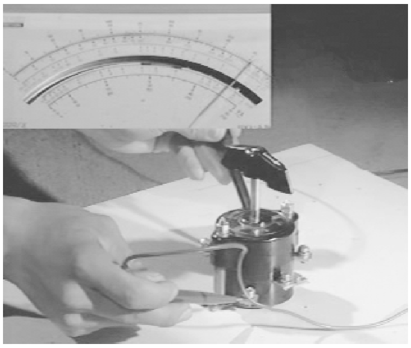
指点迷津

转换开关本身不带过载和短路保护装置，在它所控制的电路中，必须另外加装保护设备，才能保证电路和设备安全。如果转换开关控制的用电设备功率因数较低，则应按容量等级降低使用，以利于延长其使用寿命。

7.3.2　转换开关的检修

训练场 1——转换开关的检测

转换开关内部触点的好坏可以用万用表来检测。一般选择万用表的 R×10 挡，用两表笔分别测量转换开关的每一对触点，电阻值为 0 或很小，说明内部触点接触良好，如图 7-9（a）所示；如果电阻值很大甚至为无穷大，则说明该对触点有问题，如图 7-9（b）所示。测量完一对触点后，转动手柄，再测量另一对触点，直至全部测量完毕。


（a）触点接触良好

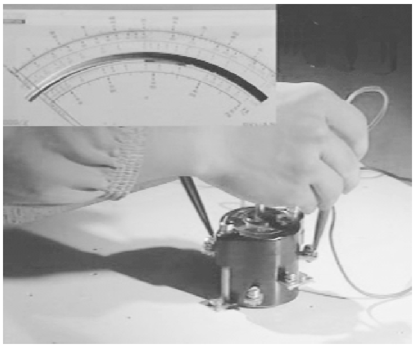

（b）触点接触不良

图 7-9　转换开关的检测

训练场 2——转换开关常见故障检修

转换开关的常见故障原因及检修方法见表 7-5。

表 7-5　转换开关的常见故障原因及检修方法

故障现象	故障原因	检修方法
手柄转动后，内部触头不动作	（1）手柄的转动连接部件磨损； （2）操作机构损坏； （3）绝缘杆变形； （4）轴与绝缘杆装配不紧	（1）调换手柄； （2）修理操作机构； （3）更换绝缘杆； （4）紧固轴与绝缘杆
手柄转动后，触头不能同时接通或断开	（1）开关型号不对； （2）修理开关时触头装配不正确； （3）触头失去弹性或有尘污	（1）更换开关； （2）重新装配； （3）更换触头或清除污垢
开关接线柱相间短路	因铁屑或油污附在接线柱间形成导电将胶木烧焦或绝缘破坏形成短路	清扫开关或调换开关

7.4　低压熔断器的检修

7.4.1　低压熔断器简介

加油站 1——熔断器的作用

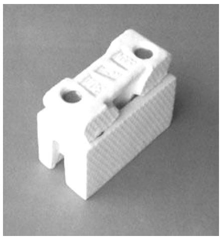
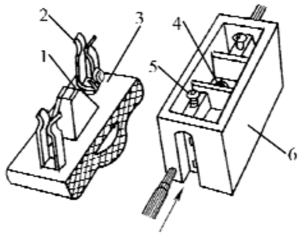
低压熔断器俗称保险丝，它串联在电路中，在系统正常工作时，低压熔断器相当于一根导线，起接通电路的作用；当通过低压熔断器的电流大于其标称电流一定比例时，熔断器内的熔断材料（或熔丝）发热，经过一定时间后自动熔断，以保护线路，避免发生较大范围的损害。

熔断器可以用作仪器仪表及线路装置的过载保护和短路保护。多数熔断器为不可恢复性产品（可恢复熔断器除外），一旦损坏后应用同规格的熔断器更换。

加油站 2——常用低压熔断器

1）瓷插式熔断器

瓷插式熔断器应用于低压线路中，作为线路及电气设备的短路保护和过载保护器件。RC1A 系列瓷插式熔断器的结构如图 7-10 所示。

1—熔丝；2—动触头；3—瓷盖；4—空腔；5—静触头；6—瓷座

图 7-10 RC1A 系列瓷插式熔断器的结构

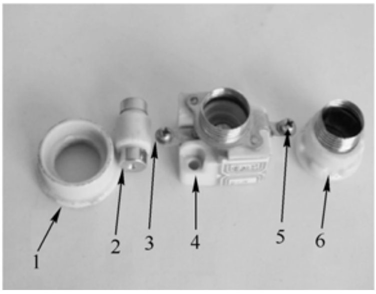
瓷插式熔断器的特点及应用见表 7-6。

表 7-6 瓷插式熔断器的特点及应用

特　点	结构简单，价格低廉，更换方便，使用时将瓷盖插入瓷座，拔下瓷盖便可更换熔丝
应　用	在额定电压为 380V 及以下、额定电流为 5～200A 的低压线路末端或分支电路中，用于线路和用电设备的短路保护，在照明线路中还可起过载保护作用

2）螺旋式熔断器

螺旋式熔断器又称为塞式熔断器，主要应用于对配电设备、线路的过载和短路保护。RL1 系列螺旋式熔断器的结构如图 7-11 所示。

1—瓷套；2—熔断管；3—下接线座；4—瓷座；5—上接线座；6—瓷帽

图 7-11 R L1 系列螺旋式熔断器的结构

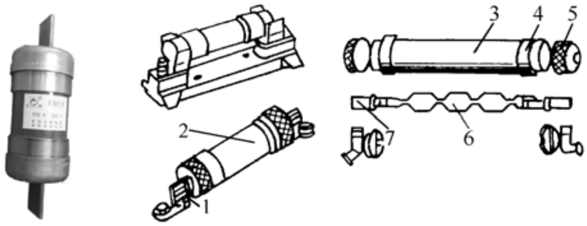
螺旋式熔断器的特点及应用见表 7-7。

表 7-7 螺旋式熔断器的特点及应用

特　点	熔断管内装有石英砂、熔丝和带小红点的熔断指示器，石英砂用来增强灭弧性能。熔丝熔断后有明显指示
应　用	在交流额定电压为 500V、额定电流为 200A 及以下的电路中，作为短路保护器件

3）封闭管式熔断器

RM10 系列封闭管式熔断器的结构如图 7-12 所示。



1—夹座；2—熔断管；3—钢纸管；4—黄铜套管；5—黄铜帽；6—熔体；7—刀型夹头

图 7-12 RM10 系列封闭管式熔断器的结构

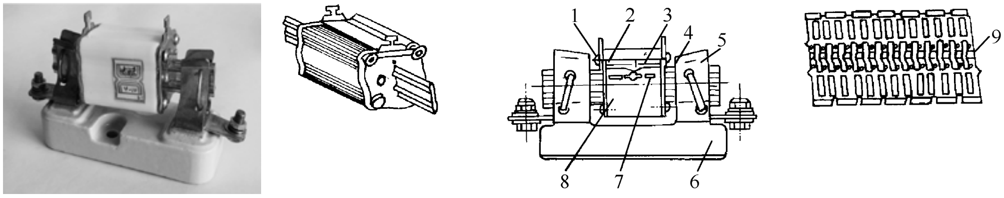
封闭管式熔断器的特点及应用见表 7-8。

表 7-8 封闭管式熔断器的特点及应用

特　　点	熔断管为钢纸制成，两端为黄铜制成的可拆式管帽，管内熔体为变截面的熔片，更换熔体较方便
应　　用	用于交流额定电压为 380V 及以下、直流为 440V 及以下、电流在 600A 以下的电力线路中

4）有填料封闭管式熔断器

RT0 系列有填料封闭管式熔断器的结构如图 7-13 所示。



1—熔断指示器；2—石英砂填料；3—指示器熔丝；4—夹头；5—夹座；6—底座；7—熔体；8—熔管；9—锡桥

图 7-13 R T0 系列有填料封闭管式熔断器的结构

有填料封闭管式熔断器的特点及应用见表 7-9。

表 7-9 有填料封闭管式熔断器的特点及应用

特　　点	熔体是两片网状紫铜片，中间用锡桥连接。熔体周围填满石英砂起灭弧作用
应　　用	用于交流为 380V 及以下、短路电流较大的电力输配电系统，作为线路及电气设备的短路保护和过载保护

5）有填料封闭管式圆筒帽形熔断器

NG30 系列有填料封闭管式圆筒帽形熔断器如图 7-14 所示。

有填料封闭管式圆筒帽形熔断器的特点及应用见表 7-10。

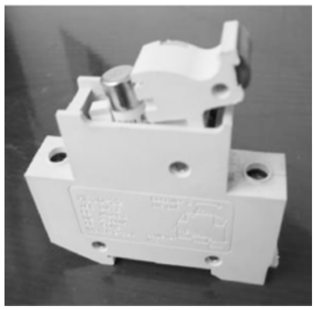


图 7-14 NG30 系列有填料封闭管式圆筒帽形熔断器

表 7-10 有填料封闭管式圆筒帽形熔断器的特点及应用

特　　点	熔断体由熔管、熔体、填料组成，由纯铜片制成的变截面熔体封装于高强度熔管内，熔管内充满高纯度石英砂作为灭弧介质，熔体两端采用点焊与端帽牢固连接
应　　用	用于交流 50Hz、额定电压为 380V、额定电流为 63A 及以下工业电气装置的配电线路中

6）有填料快速熔断器

RS0、RS3 系列有填料快速熔断器如图 7-15 所示。顾名思义，这种熔断器是一种快速动作型的熔断器，熔体为银质窄截面或网状形式，熔体为一次性使用，不能自行更换。



图 7-15 RS0 、RS3 系列有填料快速熔断器

有填料快速熔断器的特点及应用见表 7-11。

表 7-11　有填料快速熔断器的特点及应用

特　　点	在 6 倍额定电流时，熔断时间不大于 20ms，熔断时间短，动作迅速
应　　用	主要用于半导体硅整流元件的过电流保护

7）自复式熔断器

自复式熔断器是一种限流电器，其本身不具备分断能力，但是和断路器串联使用时，可以提高断路器的分断能力，可以多次使用。

自复式熔断器的熔体是应用非线性电阻元件（如金属钠等）制成的，在常温下是固体，电阻值较小，构成电流通路。在短路电流产生的高温下，熔体气化，阻值剧增，即瞬间呈现高阻状态，从而能将故障电流限制在较小的数值范围内。

自复式熔断器如图 7-16 所示。

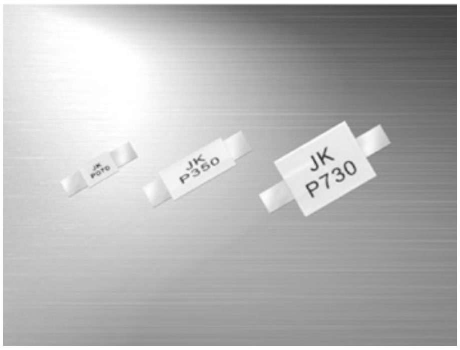


图 7-16　自复式熔断器

自复式熔断器的特点及应用见表 7-12。

表 7-12　自复式熔断器的特点及应用

特　　点	在故障短路电流产生的高温下，其中的局部液态金属钠迅速气化而蒸发，阻值剧增，即瞬间呈现高阻状态，从而限制了短路电流。当故障消失后，温度下降，金属钠蒸气冷却并凝结，自动恢复至原来的导电状态
应　　用	用于交流为 380V 的电路中，与断路器配合使用。熔断器的电流有 100A、200A、400A、600A 四个等级

指点迷津——熔断器的类型及应用口诀

简易熔断保险丝，发明可是爱迪生。
严防死守除故障，超过电流自熔化。
常用熔断器四种，居民配电用瓷插。

螺旋式的熔断器，机床配电常用它。
无填料式熔断器，设备电缆常用它。
有填料式熔断器，整流元件常用它。

中转站——熔断器应用注意事项

（1）安装熔断器应保证触头、接线端等处接触良好，并应经常检查。若接触不良会使接触部位发热，熔体温度过高而造成误动作。有时因为接触不良产生火花会干扰弱电装置。

（2）安装熔体时，注意避免机械损伤，否则相当于熔体截面变小，电阻增加，保护性能变坏。

（3）螺旋式熔断器的进线应接在底座中心端的下接线端上，出线接在上接线端上，如图 7-17 所示。



图 7-17　螺旋式熔断器的接线规定

（4）更换熔体时，要检查新熔体的规格和形状是否与更换的熔体一致。熔丝损坏后，千万不能用铜丝或铁丝代替熔丝。

（5）熔体周围温度应与被保护对象的周围温度一致，若相差太大，会使保护动作产生误差。

7.4.2　熔断器的检修

训练场 1——熔断器的检测

检测低压熔断器，可通过万用表检测其电阻值来判断熔体（丝）的好坏。

万用表选择 R×10 挡，黑、红表笔分别与熔断器的两端接触，若测得低压熔断器的阻值很小或趋于零，则表明该低压熔断器正常；若测得低压熔断器的阻值为无穷大，则表明该低压熔断器已熔断。

对于表面有明显烧焦痕迹或人眼能直接看到熔丝已经断了的熔断器，可通过观察法直接判断其好坏。

训练场 2——熔断器常见故障检修

熔断器常见故障原因及检修方法见表 7-13。

表 7-13　熔断器常见故障原因及检修方法

故 障 现 象	产 生 原 因	检 修 方 法
熔体熔断	（1）熔体规格选择太小； （2）负载侧短路或接地； （3）熔体安装时损伤； （4）熔体使用时间过久，因受氧化或运行中温度高，使熔体特性变化而误断	（1）更换适当的熔体； （2）排除短路或接地故障后再更换熔体； （3）更换新熔体时，要检查熔体是否有机械损伤，熔管是否有裂纹； （4）换新熔体时，要检查熔体的额定值是否与被保护设备相匹配
熔体未熔断但电路不通	（1）熔体两端或接线端接触不良； （2）熔断器的螺母未拧紧	（1）清扫并旋紧接线端； （2）拧紧螺母
螺旋式熔断器接触件温升过高	（1）熔断器运行年久接触表面氧化或灰尘厚，接触不良，温升高； （2）熔件未旋到位，接触不良，温升高	（1）用砂布擦除氧化物，清扫灰尘，检查接触件接触情况是否良好，或者更换全套熔断器； （2）熔件必须旋到位，旋紧、牢固
螺旋式熔断器与配电装置同时烧坏或连接导线烧断、接线端子烧坏	（1）谐波产生，当谐波电流进入配电装置时回路中电流急增烧坏； （2）导线截面积偏小，温升高烧坏； （3）接线端与导线连接螺栓未旋紧从而产生弧光短路	（1）消除谐波电流的产生； （2）增大导线截面积； （3）连接螺栓必须旋紧

7.5　交流接触器的检修

7.5.1　交流接触器简介

加油站 1——接触器的功能

所谓接触器，是指电气线路中利用线圈流过电流产生磁场，使触头闭合，以达到控制负载的电器。接触器作为执行元件，是一种用来频繁接通和切断电动机或其他负载主电路的自动电磁开关。

接触器是一种自动化的控制电器，主要用于频繁接通或分断交、直流电路，具有控制容量大、可远距离操作等优点，配合继电器可以实现定时操作、联锁控制、各种定量控制和失压及欠压保护，广泛应用于自动控制电路，其主要控制对象是电动机，也可用于控制其他电力负载，如电热器、照明、电焊机、电容器组等。

接触器的一端接控制信号，另一端则连接被控的负载线路，是实现小电流、低电压电信号对大电流、高电压负载进行接通、分断控制的最常用元器件。

在工业电气中，交流接触器的型号很多，电流在 5～1 000A 之间不等，其用处相当广泛。AC-1 类接触器主要用来控制无感或微感电路；AC-2 类接触器主要用来控制绕线式异步电动机的启动和分断；AC-3 和 AC-4 接触器可用于频繁控制异步电动机的启动和分断。

加油站 2——接触器的类型

按照不同的分类方法，接触器有多种类型，见表 7-14。

表 7-14　接触器的类型

分 类 方 法	种　　类
按主触头通过电流种类分	交流接触器、直流接触器
按操作机构分	电磁式接触器、永磁式接触器
按驱动方式分	液压式接触器、气动式接触器、电磁式接触器
按动作方式分	直动式接触器、转动式接触器

加油站 3——交流接触器的结构

传统型接触器主要由电磁系统、触头系统、灭弧装置等几部分构成，见表 7-15。其外形及结构如图 7-18 所示。

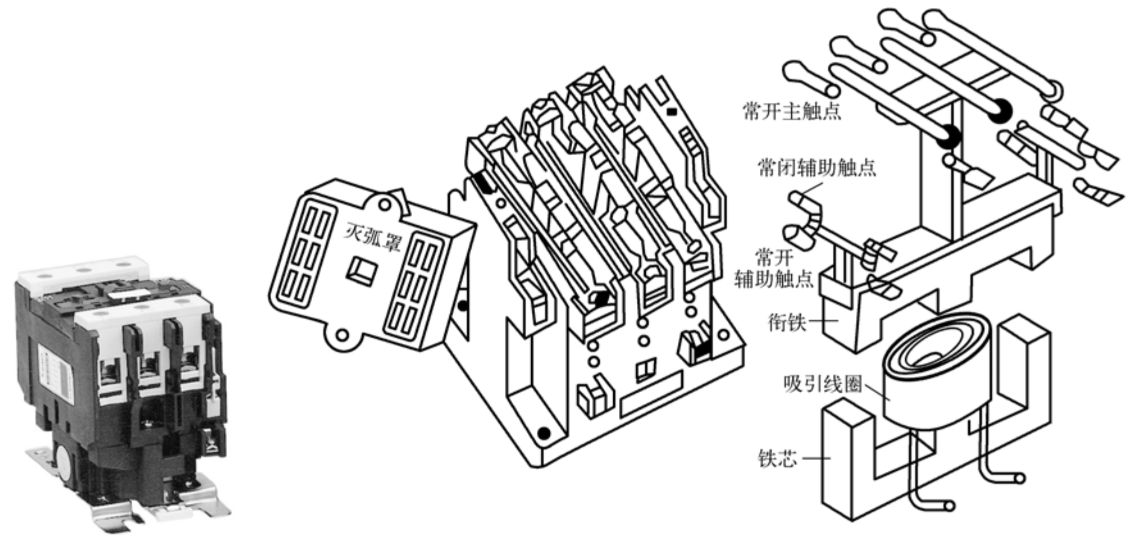


图 7-18　传统型交流接触器的外形及结构

表 7-15　接触器的结构

装置或系统	组成及说明
电磁系统	可动铁芯（衔铁）、静铁芯、电磁线圈、反作用弹簧
触头系统	主触头（用于接通、切断主电路的大电流）、辅助触头（用于控制电路的小电流）；一般有 3 对动合主触头，若干对辅助触头
灭弧装置	用于迅速切断主触头断开时产生的电弧，以免使主触头烧毛、熔焊。大容量的接触器（20A 以上）采用缝隙灭弧罩及灭弧栅片灭弧，小容量接触器采用双断口触头灭弧、电动力灭弧、相间弧板隔弧及陶土灭弧罩灭弧

交流接触器的动作动力来源于交流电磁铁，电磁铁由两个“山”字形的硅钢片叠成，其中一个固定，上面套上线圈，工作电压有多种供选择。为了使磁力稳定，在铁芯的吸合面加上短路环。交流接触器在失电后，依靠弹簧复位。另一半是活动铁芯，构造和固定铁芯一样，用于带动主接点和辅助接点的开断。

为了减小铁芯损耗，交流接触器的铁芯由硅钢片叠成，并为了消除铁芯的颤动和噪声，在

铁芯端面的一部分套有减振环，如图 7-19 所示。减振环又称为短路环，它的作用是减小交流接触器在吸合时产生的振动和噪声。因此，在维修时，如果没有安装此减振环，交流接触器吸合时会产生非常大的噪声。

按功能不同，接触器的触头分为主触头和辅助触头。主触头用于接通和分断电流较大的主电路，体积较大，一般由 3 对动合触头组成；辅助触头用于接通和分断小电流的控制电路，体积较小，有动断和动合两种触头。根据触头形状的不同，分为桥式触头和指形触头，其形状分别如图 7-20（a）和（b）所示。

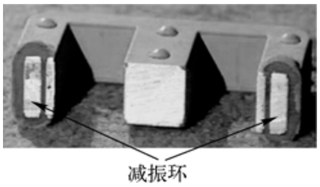


图 7-19　减振环

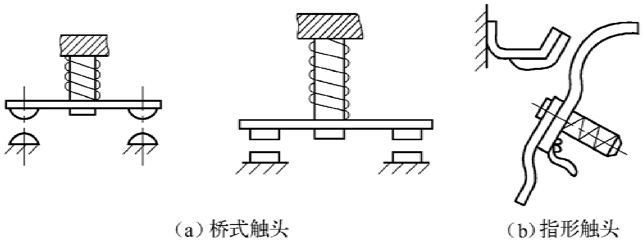


图 7-20　桥式触头和指形触头

通过对传统型交流接触器的结构进行改造，增加如节电器、节电线圈、机械锁扣等装置，电磁系统改为剩磁（永磁）吸持式等方式，就成为目前比较流行的节电型交流接触器（又称为节能型交流接触器），其节能效果很明显，如图 7-21 所示。



图 7-21　节电型交流接触器

7.5.2　交流接触器的检修



训练场 1——交流接触器的拆装与检修

1）拆卸步骤

（1）卸下灭弧罩紧固螺钉，取下灭弧罩。

（2）拉紧主触头定位弹簧夹，取下主触头及主触头压力弹簧片。拆卸主触头时必须将主触

头侧转 45° 后取下。

（3）松开辅助常开静触头的线桩螺钉，取下常开静触头。

（4）松开接触器底部的盖板螺钉，取下盖板。松盖板螺钉时要用手按住螺钉并慢慢放松。

（5）取下静铁芯缓冲绝缘纸片及静铁芯，取下静铁芯支架及缓冲弹簧。

（6）拔出线圈接线端的弹簧夹片，取下线圈。

（7）取下反作用弹簧，取下衔铁和支架。

（8）从支架上拔出动铁芯定位销，取下动铁芯及缓冲绝缘纸片。

特别提示：在拆卸时，要注意观察缓冲弹簧与反作用力弹簧的大小、长度、安装位置的区别；静铁芯和衔铁形状的不同；短路铜环的位置、大小；线圈的位置、方向等。拆掉所有动、静触头，拆卸时注意动触头的方向、位置。拆下后，对比主、辅触头的不同点（这对 CJ10-10 的交流接触器特别重要，因其主、辅触头的形状、大小相差无几，要通过仔细观察、对比才能分清），做好这些观察准备工作，在按相反顺序依次安装时可避免产生一些不必要的麻烦。

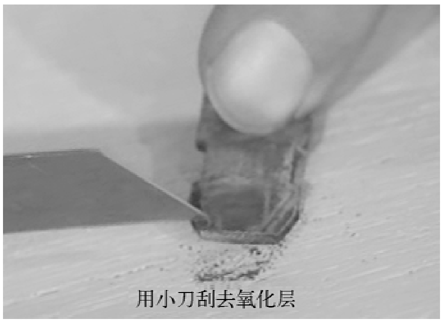
2）维修

（1）检查灭弧灯罩有无破裂或烧损，清除灭弧罩内的金属飞溅物和颗粒。

（2）检查触头的氧化情况和磨损程度。触头表面氧化不严重时，可在触头处涂上少许牙膏，用牙刷反复刷即可修复，如图 7-22 所示；如果氧化严重，可用小刀轻轻刮去颗粒氧化层，也可用砂纸慢慢打磨氧化层，如图 7-23 所示。若触头磨损严重，应更换触头。若不需要更换，则用小刀或锉刀设法清除触头表面电弧烧毛的颗粒，如图 7-24 所示。



图 7-22　用牙刷修复触头氧化层



用小刀刮去氧化层



用清洗剂清洗触点

图 7-23　用小刀（或砂纸）修复触头氧化层

（3）清除铁芯端面的油垢，检查铁芯有无变形及是否平整。如果触头沾有油垢，可用汽油或四氯化碳清洗干净，如图 7-25 所示。



图 7-24　用锉刀修复触头表面的毛刺



图 7-25　用汽油或四氯化碳清洗触头

（4）检查触头压力弹簧及反作用弹簧是否变形或弹力不足，若有需要则更换弹簧。

（5）检查电磁线圈是否有短路、断路及发热变色现象。

3）装配

按拆卸的逆顺序进行装配。

装配完后应进行如下检查：用万用表欧姆挡检查线圈及各触头接触是否良好；用兆欧表测量各触头间及主触头对地绝缘电阻是否符合要求；用手按主触头检查运动部分是否灵活（如图 7-26 所示），以防产生接触不良、振动和噪声。

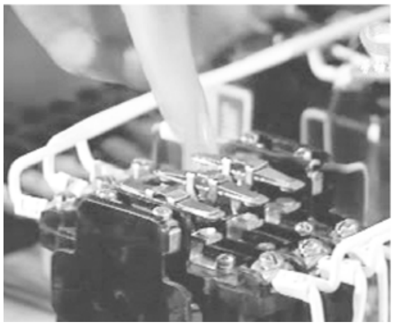


图 7-26　检查运动部分是否灵活

4）校验

（1）将装配好的接触器按如图 7-27 所示接入校验电路。

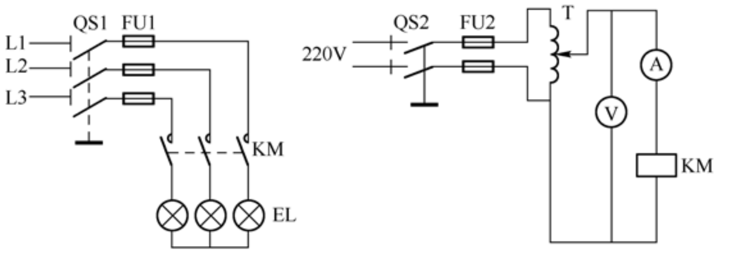


图 7-27　接触器动作值校验电路

（2）选好电流表、电压表量程并调零；将调压变压器输出置于零位。

（3）合上 QS1 和 QS2，均匀调节调压变压器，使电压上升到接触器铁芯吸合为止，此时电压表的指示值即为接触器动作的电压值。该电压应小于或等于线圈额定电压的 85%。

（4）保持吸合电压值，分合开关 QS2，做两次冲击合闸试验，以校验动作的可靠性。

（5）均匀地降低调压变压器的输出电压，直至衔铁分离，此时电压表的指示值即为接触器的释放电压，释放电压值应大于线圈额定电压的 50%。

（6）将调压变压器的输出电压调至接触器线圈的额定电压，观察铁芯有无振动及噪声，从指示灯的明暗可判断主触头的接触情况。

5）触头压力的检测与调整

用纸条判断触头压力是否合适。如图 7-28 所示，将一张厚约 0.1mm、比触头稍宽的纸条夹在接触器的触头间，使触头处于闭合位置，用手拉动纸条，若触头压力合适，稍用力纸条才可拉出。若纸条很容易被拉出，说明触头压力不够；若纸条被拉断，说明触头压力太大。可调整触头弹簧或更换弹簧，直至符合要求。



图 7-28　检查触头压力



训练场 2——交流接触器常见故障检修

交流接触器常见故障原因及检修方法见表 7-16。

表 7-16　交流接触器常见故障原因及检修方法

故障现象	可能原因	处理方法
触点闭合而铁芯不能完全闭合	（1）电源电压过低或波动大； （2）操作回路电源容量不足或断线，配线错误，触点接触不良； （3）选用线圈不当； （4）产品本身受损，如线圈受损，部件卡住，转轴生锈或歪斜； （5）触点弹簧压力不匹配	（1）增大电源电压； （2）增大电源容量，更换线路，修理触点； （3）更换线圈； （4）更换线圈，排除卡住部件，修理损坏零件； （5）调整触点参数
触点熔焊	（1）操作频率过高或超负荷使用； （2）负载侧短路； （3）触点弹簧压力过小； （4）触点表面有异物； （5）回路电压过低或有机械卡住	（1）调换合适的接触器； （2）排除短路故障，更换触点； （3）调整触点弹簧压力； （4）清理触点表面； （5）提高操作电源电压，排除机械卡住，使接触器吸合可靠
触点过度磨损	接触器选用不当，在一些场合造成其容量不足（如在反接振动，操作频率过高，三相触点动作不同步等）	更换适合繁重任务的接触器；如果三相触点动作不同步，应调整到同步
不释放或释放缓慢	（1）触点弹簧压力过小； （2）触点熔焊； （3）机械可动部分卡住，转轴生锈或歪斜； （4）反力弹簧损坏； （5）铁芯吸面粘有污物或尘埃	（1）调整触点参数； （2）排除熔焊故障，修理或更换触点； （3）排除卡住故障，修理受损零件； （4）更换反力弹簧； （5）清理铁芯吸面

续表

故障现象	可能原因	处理方法
铁芯噪声过大	（1）电源电压过低； （2）触点弹簧压力过大； （3）磁系统歪斜或卡住，使铁芯不能吸平； （4）吸面生锈或有异物； （5）短路环断裂或脱落； （6）铁芯吸面磨损过度而不平	（1）提高操作回路电压； （2）调整触点弹簧压力； （3）排除机械卡住； （4）清理铁芯吸面； （5）调换铁芯或短路环； （6）更换铁芯
线圈过热或烧损	（1）电源电压过高或过低； （2）线圈技术参数与实际使用条件不符合； （3）操作频率过高； （4）线圈制作不良或有机械损伤、绝缘损坏； （5）使用环境条件特殊，如空气潮湿、有腐蚀性气体或环境温度过高等； （6）运动部件卡住； （7）铁芯吸面不平	（1）调整电源电压； （2）更换线圈或者接触器； （3）选择合适的接触器； （4）更换线圈，排除线圈机械受损的故障； （5）采用特殊设计的线圈； （6）排除卡住现象； （7）清理吸面或调换铁芯

7.6　继电器的检修

7.6.1　继电器简介

加油站 1——继电器的特点及作用

继电器是根据某一输入量（电、磁、声、光、热）达到一定值时，输出量将发生跳跃式变化的自动控制器件。与接触器相比，继电器具有触点额定电流很小，不需要灭弧装置，触点种类和数量较多，体积小等特点，但对其动作的准确性要求较高。

一般来说，继电器主要用来反映各种控制信号的变化情况，它实际上是用小电流去控制大电流运作的一种“自动开关”，其触点通常接在控制电路中，不直接控制电流较大的主电路，而是通过接触器或其他电器对主电路进行控制，通常应用于自动化的控制电路中。作为控制元件，概括起来，继电器的作用见表 7-17。

表 7-17　继电器的作用

作　用	说　明
扩大控制范围	多触点继电器控制信号达到某一定值时，可以按触点组的不同形式，同时换接、开断、接通多路电路
放大	灵敏型继电器、中间继电器等，用一个很微小的控制量，可以控制很大功率的电路
自动、遥控、监测	自动装置上的继电器与其他电器一起，可以组成程序控制线路，从而实现自动化运行
综合信号	当多个控制信号按规定的形式输入多绕组继电器时，经过比较综合，达到预定的控制效果

加油站 2——继电器的种类

继电器的种类很多，常用继电器见表 7-18。

表 7-18 继电器的种类

分类方法	种类
按输入信号性质分	电流继电器、电压继电器、速度继电器、压力继电器
按工作原理分	电磁式继电器、电动式继电器、感应式继电器、晶体管式继电器和热继电器
按输出方式分	有触点式和无触点式
按外形尺寸分	微型继电器、超小型继电器、小型继电器
按防护特征分	密封继电器、塑封继电器、防尘罩继电器、敞开继电器

中转站——继电器的应用

（1）了解必要的条件：

① 控制电路的电源电压，能提供的最大电流。

② 被控制电路中的电压和电流。

③ 被控电路需要几组、什么形式的触点。

选用继电器时，一般控制电路的电源电压可作为选用的依据。控制电路应能给继电器提供足够的工作电流，否则继电器吸合是不稳定的。

（2）查阅有关资料确定使用条件后，可查找相关资料，找出需要的继电器的型号和规格号。若手头已有继电器，可依据资料核对是否可以利用。最后考虑尺寸是否合适。

（3）注意器具的容积。若是用于一般用电器，除考虑机箱容积外，小型继电器主要考虑电路板安装布局。

7.6.2 常用继电器的检修



训练场 1——继电器的测试

在安装、维护、维修继电器时，可通过对继电器的一些参数进行测试，以鉴定其质量好坏，其参数项目见表 7-19。

表 7-19 测试继电器

项目	测试方法
触点电阻	使用万用表的电阻挡，测量动断触点与动点的电阻，其阻值应为 0（用更加精确的方式可测得触点阻值在 100mΩ 以内）；而动合触点与动点的阻值应为无穷大。由此可以区别出哪个是动断触点，哪个是动合触点
线圈电阻	可用万用表 R×10 挡测量继电器线圈的阻值，从而判断该线圈是否存在开路现象
吸合电压 吸合电流	采用可调稳压电源和电流表，给继电器输入一组电压，且在供电回路中串入电流表进行监测。慢慢调高电源电压，听到继电器吸合声时，记下该吸合电压和吸合电流。为求准确，可以多试几次而求平均值
释放电压 释放电流	与测试吸合电压和吸合电流的电路连接方法一样，当继电器发生吸合后，再逐渐降低供电电压，当听到继电器再次发出释放声音时，记下此时的电压和电流，可多尝试几次而取得平均的释放电压和释放电流。一般情况下，继电器的释放电压约为吸合电压的 10%～50%，如果释放电压太小（小于 1/10 的吸合电压），则不能正常使用，这样会对电路的稳定性造成威胁，使工作不可靠

中转站——继电器的检修周期

（1）变电所值班员在每天交接班时，要进行一次外观检查。在新安装和定期检验时，继电器外壳、玻璃应完整，清洁，嵌接良好，防尘密封良好，安装端正，继电器端子接线牢固。内部清洁，无灰尘和油污。

（2）电流继电器、电压继电器、时间继电器及 DH-1 型重合闸继电器每年进行一次全面检调；中间继电器、信号继电器每年进行一次检调。

训练场 2——时间继电器动作时间的检验

在进行定期检验时，继电器在整定位置加额定电压测量动作时间三次，取其平均值，要求每次测量值与整定值的误差不超过 0.07s。对新安装的继电器还需在额定电压下测定最大与最小刻度位置时的动作时间。

直流时间继电器的动作电压不大于 70%额定电压值，返回电压应不小于 5%额定电压值。

当测得的时间与刻度值不符时，可移动刻度盘使其满足要求。当继电器全刻度误差超过其值的±3%时，应对钟表机构进行调整。其调整方法如下：

（1）调整钟摆偏心轴承，使钟摆与摆齿啮合适当，以防卡死或打滑。

（2）调整钟摆摆锤的远近。若时间短，可调远些；否则，调近些。

（3）调整钟表弹簧的拉力。

当使用与频率有关的仪器进行时间测量时，应对频率的影响加以校正。

训练场 3——时间继电器常见故障检修

时间继电器常见故障原因及检修方法见表 7-20。

表 7-20　时间继电器常见故障原因及检修方法

故障现象	产生原因	检修方法
触头不动作	（1）电磁线圈断线； （2）电源电压低于线圈额定电压很多； （3）电动式时间继电器的同步电动机线圈断线； （4）电动式时间继电器的棘爪无弹性，不能刹住棘齿； （5）电动式时间继电器游丝断裂	（1）更换线圈； （2）更换线圈或调高电源电压； （3）重绕电动机线圈，或调换同步电动机； （4）更换新的合格的棘爪； （5）更换游丝
延时时间变长	（1）空气阻尼式时间继电器的气室内有灰尘，使气道阻塞； （2）电动式时间继电器的传动机构缺润滑油	（1）清除气室内的灰尘，使气道畅通； （2）加入适量的润滑油
延时时间缩短	（1）空气阻尼式时间继电器的气室装配不严，漏气； （2）空气阻尼式时间继电器的气室内橡皮薄膜损坏	（1）修理或调换气室； （2）更换橡皮薄膜

训练场 4——热继电器常见故障检修

热继电器常见故障原因及检修方法见表 7-21。

表 7-21 热继电器常见故障原因及检修方法

故障现象	产生原因	检修方法
误动作	（1）选用热继电器的规格不当（如与负载电流值不匹配）； （2）热继电器整定电流值偏低； （3）电动机启动电流过大，电动机启动时间过长； （4）在短时间内频繁启动电动机； （5）连接热继电器主回路的导线过细、接触不良或主导线在热继电器接线端子上未压紧； （6）热继电器受到强烈的冲击震动； （7）热继电器安装不合规定，或热继电器周围温度与被保护设备的周围温度相差太大	（1）更换热继电器，使其额定值与电动机额定值相符； （2）调整热继电器整定值，使其正好与电动机的额定电流值相符合并对应； （3）减轻启动负载，电动机启动时间过长时，应使时间继电器调整的时间稍短些； （4）减少电动机启动次数； （5）更换连接热继电器主回路的导线，使其横截面积符合电流要求，重新压紧热继电器主回路的导线端子； （6）改善热继电器使用环境； （7）按照规定安装热继电器，按两处的温度差配置适当的热继电器
电动机烧坏，热继电器不动作	（1）热继电器整定电流值整定得过大； （2）热继电器的热元件脱焊或烧断； （3）热继电器动作机构卡死； （4）上导板脱出； （5）连接热继电器的主回路导线过粗； （6） 年久失修，导致机械动作机构和胶木零件磨损，积尘锈蚀或变形甚至卡住	（1）重新调整热继电器电流值； （2）用酒精清洗热继电器的动作触头，更换损坏部件； （3）调整热继电器动作机构，并加以修理； （4）重新放入并调整好脱出的导板； （5）更换成符合标准的导线； （6）定期修理调整，防止热继电器动作特性发生变化
热元件烧坏	（1）选用的热继电器规格与实际负载电流不匹配； （2）负载侧短路或电流过大； （3）电动机过于频繁启动； （4）热继电器动作机构不灵，使热元件长期超载运行； （5）热继电器的主接线端子与电源线连接时有松动现象或接头处氧化，线头接触不良引起发热烧坏	（1）热继电器的规格要选择适当； （2）检查并排除电路的短路故障后，更换合适的热继电器； （3）改变操作电动机方式，减少启动电动机次数； （4）更换动作灵敏的合格热继电器； （5）设法去掉接线头与热继电器接线端子的氧化层，并重新压紧热继电器的主接线
动作不稳定	（1）接线螺钉未拧紧； （2）配电电源质量差，电压波动太大	（1）拧紧接线螺钉； （2）加装电源稳压器，改善电源电压质量

指点迷津——热继电器动作

（1）断开回路开关，并解开所有联锁控制。

（2）检查该热继电器为何动作，并消除动作隐患。

（3）按复位按钮，让热继电器手动复位至原始状态。

（4）合上回路开关，使用接触器为回路供电，检查电动机等设备运行是否正常，热继电器是否继续跳闸。

（5）一切正常之后，连上所有控制回路，使热继电器进入准备运行状态。

中转站——继电器触点磨损过快或火花太大的对策

继电器的控制对象主要是各种电器的电磁线圈及某些信号电路，因此其触点的额定电流一般都较小，通常不超过 5A。但为达到灵敏度高和结构小巧的目的，继电器触点压力不得不取得尽可能小，加之动作又很频繁，而负载又多为电感性的，工作电流比较大。因此，有时需要设置灭火花电路以减轻触点的负担。

当继电器的触点磨损过快或火花太大（甚至产生无线电干扰）时，应采用灭火花电路。灭火花电路是与继电器的触点并联的放电回路，在继电器的触点分断时，能把电流转移到放电回路，以此保护触点。灭火花电路用于继电器，以保护其触点系统，降低磨损，提高分断能力，从而保证整个继电器的工作安全可靠。

7.7　主令控制器的检修

7.7.1　主令控制器简介

加油站 1——主令控制器的作用

主令控制器主要用于电气传动装置中，按照预定程序换接控制电路接线的主令电器，达到发布命令或其他控制线路联锁、转换的目的，如图 7-29 所示。



LK1 系列　　LK4 系列　　LK5 系列　　LK16 系列

图 7-29　主令控制器

主令控制器适用于频繁对电路进行接通和切断，常配合磁力启动器对绕线式异步电动机的启动、制动、调速及换向实行远距离控制，广泛应用于各类起重机械的拖动电动机控制系统。

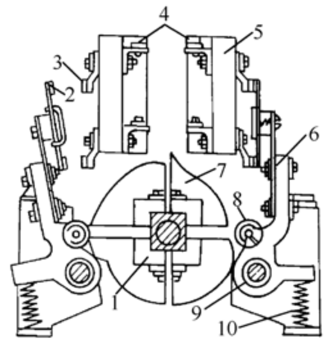
由于主令控制器的控制对象是二次电路，所以其触头工作电流不大。

加油站 2——主令控制器的类型

主令控制器按其结构形式（主令能否调节）可分为两类：一类是主令可调式主令控制器，另一类是主令固定式主令控制器。前者的主令片上开有小孔和槽，使其能根据规定的触头关合图进行调整；后者的主令只能根据规定的触头关合图进行适当的排列与组合。

加油站 3——主令控制器的结构

主令控制器一般由触头系统、操作机构、转轴、手柄、复位弹簧、接线柱等组成，如图 7-30 所示。



1—方形转轴；2—动触头；3—静触头；4—接线柱；5—绝缘板；6—支架；7—凸轮块；8—小轮；9—转动轴；10—复位弹簧

图 7-30　主令控制器的结构

中转站——主令控制器的选用

主令控制器主要根据使用环境、所需控制的回路数、触头闭合顺序等进行选择。

（1）主令控制器的控制路数要与所需控制的回路数量相同。

（2）触点闭合的顺序要有规则性。例如，LK1-12/90 型主令控制器触点闭合的顺序如图 7-31 所示。

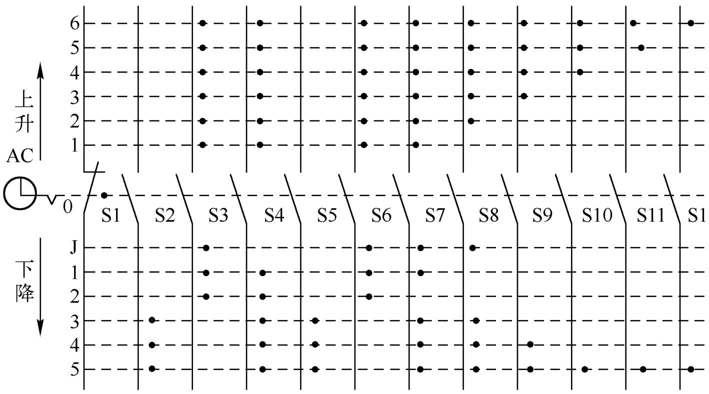


图 7-31 LK1 -12/90 型主令控制器触点闭合的顺序

（3）长期允许电流应选择在接通或分断电路时主令控制器的允许电流范围之内。

（4）选用主令控制器时，也可以参考相应的技术参数进行选择。

7.7.2 主令控制器常见故障检修

训练场——主令控制器常见故障分析及检修

主令控制器常见故障原因及检修方法见表 7-22。

表 7-22 主令控制器常见故障原因及检修方法

故障现象	故障原因	检修方法
操作不灵活	滚动轴承损坏或卡死	修理或更换轴承
	凸轮鼓或触头嵌入异物	取出异物，修复或更换产品
	操纵杆上的“防尘皮碗”损坏，灰尘、纸皮垃圾或雨水等进入控制器内部，造成触点脏污或被卡	对各触点用电器清洁剂喷射清洁、活络，测量各触点直至证实其动作正常，然后再装复
触头过热或烧毁	控制器容量过小	选用较大容量的主令控制器
	触头压力过小	调整或更换触头弹簧
	触头表面烧毛或有油污	修理或清洗触头
定位不准或分合顺序不正确	凸轮片碎裂脱落或凸轮角度磨损变化	更换凸轮片

第 8 章　变频器的检修

8.1　变频器的日常维护

8.1.1　变频器的检查

加油站 1——变频器日常检查项目

变频器日常检查，包括不停止变频器运行或不拆卸其盖板进行通电和启动试验，通过目测变频器的运行状况，确认有无异常情况，通常检查如下内容。

（1）键盘面板显示是否正常，有无缺少字符；仪表指示是否正确，是否有振动、振荡等现象。

（2）冷却风扇部分是否运转正常，是否有异常声音等。

（3）变频器及引出电缆是否有过热、变色、变形、异味、噪声、振动等异常情况。

（4）变频器周围环境是否符合标准规范，温度与湿度是否正常。

（5）变频器的散热器温度是否正常，电动机是否有过热、异味、噪声、振动等异常情况。

（6）变频器控制系统是否有集聚尘埃的情况。

① 检查散热器表面的积尘状况，若积尘较厚则用干燥的压缩空气吹扫。

② 检查印制电路板的积尘状况，若有导电灰尘吸附可用干燥的压缩空气吹扫。

③ 检查功率元件表面的积尘，若积尘过多则用干燥的压缩空气吹扫。

（7）变频器控制系统的各连接线及外围电气元件是否有松动等异常现象。

（8）检查变频器的进线电源是否异常，电源开关是否有电火花、缺相，引线压接螺栓是否松动，电压是否正常等。

中转站——变频器试机方法

（1）按电压等级要求，接上 R、S、T（或 L1、L2、L3）电源线（电动机暂不接，目的是检查变频器）。

（2）合上电源，充电指示灯（CHAGER）亮，若稍后可听到机内接触器吸合声（整流部分半桥相控型除外），则说明预充电控制电路、接触器等基本完好，整流桥工作基本正常。

（3）检查面板是否点亮，以判断机内开关电源是否工作，接着检查监控显示是否正常，有无故障码显示；然后操作面板键盘检查面板功能是否正常。

（4）观察机内有无异味、冒烟或异常响声，若有说明主电路或控制电路（包括开关电源）工作可能异常并伴有器件损坏。

（5）检查机内冷却风扇是否运转，风量、风压及轴承声音是否正常。注意有些机种需

发出运行命令后才运转；也有的是变频器一上电风扇就运转，延时若干时间后若无运行命令，则自动停转，一直等到运行命令（RUN）发出后再运转。

（6）对于新的变频器可将其置于面板控制，频率（或速度）先给定为 1Hz（或 1Hz 对应的速度值）左右，按下运行（RUN）命令键，若变频器不跳闸，说明变频器的逆变器模块无短路或失控现象。然后缓慢升频分别至 10Hz、20Hz、30Hz、40Hz 直至额定值（如 50Hz），其间测量变频器不同频率时输出 U-V、U-W、V-W 端之间线电压是否正常，特别应注意三相输出电压是否对称，目的是确认 CPU 信号和 6 路驱动电路是否正常（一般磁电式万用表，应接入滤波器后才能准确测量 PWM 电压值）。

（7）断开变频器电源，接上电动机连接线（通常情况下选用功率比变频器小的电动机即可，对于直接转矩控制的变频器应置于“标量”控制模式下，电动机接入前应检查并确认良好，最好为空载状态）。

（8）重新送电开机并将变频器频率设置在 1Hz 左右，因为在低速情况下最能反映变频器的性能。观察电动机运转是否有力（对 *U*/*f* 比控制的变频器转矩值与电压提升量有关）、转矩是否脉动及是否存在转速不均匀现象，若是说明变频器的控制性能不佳。

（9）缓慢升频加速直至额定转速，然后缓慢降频减速。强调“缓慢”是因为变频器原始的加、减速时间的设定值通常为默认值，过快升频易致过电流动作发生；过快降频则易致过电压动作发生。在不希望改变设定的情况下，可以通过单步操作加、减键来实现“缓慢”加、减速。

（10）加载至额定电流值（有条件时进行）。用钳型电流表分别测量电动机的三相电流值，该电流值应大小相等，最后用钳型电流表测量电动机电流的零序分量值（3 根导线一起放入钳内），正常情况下一台几十千瓦的电动机应为零点几安以下。其间观察电动机运转过程中是否平稳顺畅，有无异常振动，有无异常声音发出，有无过电流、短路等故障报警，以进一步判断变频器控制信号和逆变器功率器件工作是否正常。经验表明，观察电动机的运转情况常常是最直接、最有效的方法，一台不能平稳运转的电动机，其供电的变频器肯定是存在问题的。

通过以上检查后，才可认为变频器工作基本正常。

加油站 2——变频器定期检查项目

根据用户的使用情况，每 3 个月或 1 年对变频器进行一次定期检查。定期检查须在变频器停止运行，切断电源，再打开机壳后进行。但必须注意，变频器即使切断了电源，主电路直流部分滤波电容器放电也需要时间，须待充电指示灯熄灭后，用万用表等确认直流电压已降到安全电压（DC 25V 以下），然后才能进行检查。变频器在运行期间定期停机检查的项目见表 8-1。

表 8-1　变频器定期检查项目

序号	定期检查项目	异 常 对 策
1	输入、输出端子及铜排是否过热变色、变形；输入 R、S、T 与输出 U、V、W 端子座是否有损伤	更换端子
2	R、S、T 和 U、V、W 与铜排连接是否牢固	用螺钉旋具拧紧
3	主回路和控制回路端子绝缘是否满足要求	处理绝缘，使其达到要求
4	电力电缆和控制电缆有无损伤或老化变色	更换电缆
5	功率元器件、印制电路板、散热片等表面有无粉尘、油雾吸附，有无腐蚀及锈蚀现象	若有污损，用抹布蘸上中性化学剂擦拭。若有粉尘，可用吸尘器吸去粉尘

续表

序号	定期检查项目	异 常 对 策
6	检查滤波电容和印制板上的电解电容有无鼓肚变形现象，有条件时可测定实际电容值	更换电容器
7	对长期不使用的变频器，应进行充电试验，使变频器主回路电解电容器的充放电特性得以恢复。充电时，应使用调压器慢慢升高变频器的输入电压直至额定电压，通电时间应在 2h 以上，可以不带负载。充电试验至少每年一次	定期进行充电试验
8	散热风机和滤波电容器属于变频器的损耗件，有定期强制更换的要求	定期更换
9	检查冷却风扇是否有异常声音、异常振动	更换冷却风扇



训练场 1——检查变频器的绝缘电阻

1）主电路绝缘电阻检测

测量变频器主电路绝缘电阻时，必须将所有输入端（R、S、T）和输出端（U、V、W）都连接起来后，再用 500V 兆欧表测量绝缘电阻，其值应在 5MΩ以上，如图 8-1 所示。

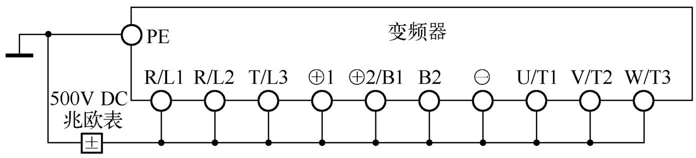


图 8-1　变频器主电路绝缘电阻检测

2）控制电路绝缘电阻检测

变频器控制电路的绝缘电阻要用万用表的高阻挡测量，不能用兆欧表或其他有高电压的仪表测量。

中转站——低压变频器的类别及特点

- 交-直-交低压变频器
  - 通用型
    - 一般通用型　无矢量控制功能
    - 高功能通用型
      - 只有无反馈矢量控制功能
      - 有带转速反馈的矢量控制功能
  - 专用型
    - 风机、水泵用变频器
      - 过载能力低
      - 有PID功能
      - 有“睡眠”和“唤醒”功能
      - 有“1控X”的扩展功能
    - 起重机械专用变频器
      - 具有四象限运行功能
      - 具有防止溜钩的功能
      - 可配置向电网反馈电能附件
    - 电梯专用变频器
      - 具有平层调整功能
      - 具有记录每层层高的功能
      - 具有承重功能
      - 具有距离控制功能
    - 张力控制专用变频器
      - 具有转矩控制和转速控制切换功能
      - 具有卷绕和放卷的选择功能
      - 具有计数功能

训练场 2——变频器的冷态测试

冷态测试是在不通电的状态下测量变频器主回路是否正常，主要是检查主回路的整流模块、缓冲电阻、直流电抗器、滤波电容及逆变模块是否损坏。

1）整流模块的检测

找到变频器内部直流电源的 P 端和 N 端，用指针式万用表 R×10 挡，将红表笔接到 P 端，黑表笔分别接到 R、S、T，应该有约几十欧的阻值，且基本平衡；相反，将黑表笔接到 P 端，红表笔依次接到 R、S、T，有一个接近于无穷大的阻值。将红表笔接到 N 端，重复以上步骤，应得到相同的结果。

整流模块也可以用数字万用表的二极管挡测试其好坏。

在测量时，如果出现阻值三相不平衡，则说明整流桥故障。在红表笔接 P 端时，电阻值无穷大，可断定整流桥有故障或启动电阻出现故障。

整流桥故障现象有两种表现：一是整流模块中的整流二极管一个或多个损坏而开路，导致主回路直流电压下降，变频器输入缺相或直流低电压保护动作报警；二是整流模块中的整流二极管一个或多个损坏而短路，导致变频器输入电源短路，供电电源跳闸，变频器无法上电。

整流桥的故障原因及分析见表 8-2。

表 8-2　整流桥的故障原因及分析

故障原因	故障分析
因过电流而烧毁	直流母线内部放电短路、电容器击穿短路或逆变桥短路而引起整流模块烧毁。原因是当整流模块在瞬间流过短路电流后，在母线上会产生很高的电压和很大的电动力，继而在母线电场最不均匀且耐压强度最薄弱的地方产生放电引起新的相间或对壳放电短路。这种现象在裸露母线结构或母线集成在印制电路板的变频器中经常发生
因过电压而击穿	通常是由于电网电压浪涌引起，这个过电压会造成整流模块的击穿损坏；还有电动机再生所引起的直流过电压，或使用了制动单元但制动放电功能失效（如制动单元损坏、放电电阻损坏），整流模块均有可能因电压击穿而损坏。输入电路中阻容吸收或压敏电阻有元件损坏，对于经常性出现电网浪涌电压或是由自备发电机供电的地方，整流模块容易受到损坏
晶闸管异常	采用三相半控整流的晶闸管整流模块，模块出现异常情况时除了检查模块好坏外还应检查控制板触发脉冲是否正常；带开机限流晶闸管的整流模块，当模块的晶闸管不能正常工作时，除了检查晶闸管好坏外，还要检查脉冲控制信号是否正常

2）逆变电路的检测

将红表笔接到 P 端，黑表笔分别接到 U、V、W 上，应有几十欧的阻值，且各相阻值基本相同，反向应该为无穷大。将黑表笔接到 N 端，重复以上步骤应得到相同的结果，否则可确定逆变模块故障。

整流桥模块、逆变器模块电路如图 8-2 所示，其正常的测试结果见表 8-3。

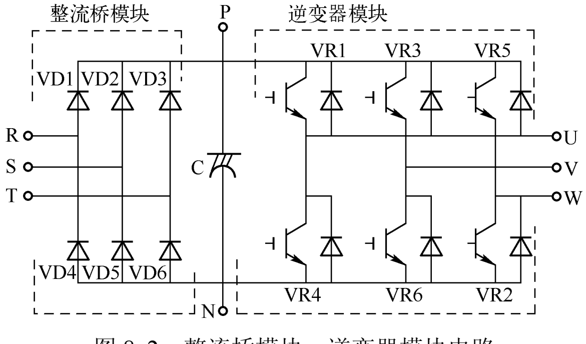


图 8-2　整流桥模块、逆变器模块电路

表 8-3　整流桥模块、逆变器模块测试结果

模块 \ 测量参数		万用表极性 ⊕	万用表极性 ⊖	测量值
整流桥模块	VD1	R	P	不导通
		P	R	导通
	VD2	S	P	不导通
		P	S	导通
	VD3	T	R	不导通
		P	T	导通
	VD4	R	N	导通
		N	R	不导通
	VD5	S	N	导通
		N	S	不导通
	VD6	T	N	导通
		N	T	不导通
逆变器模块	VR1	U	P	导通
		P	U	导通
	VR3	V	P	导通
		P	V	导通
	VR5	W	P	导通
		P	W	导通
	VR4	U	N	导通
		N	U	导通
	VR6	V	N	导通
		N	V	导通
	VR2	W	N	导通
		N	W	导通

3）逆变器 IGBT 模块检测

以德国 Eupec 25A/1 200V 六相 IGBT 模块为例。将负载侧 U、V、W 相的导线拆除，使用二极管测试挡，红表笔接 P（集电极 C1），黑表笔依次测 U、V、W（发射极 E1），万用表显示数值为最大；将表笔反过来，黑表笔接 P，红表笔测 U、V、W，万用表显示数值为 400 左右。再将红表笔接 N（发射极 E2），黑表笔测 U、V、W，万用表显示数值为 400 左右；黑表笔接 N，红表笔测 U、V、W（集电极 C2），万用表显示数值为最大。各相之间的正反向特性应相同，若出现差别则说明 IGBT 模块性能变差，应予以更换。

红、黑两表笔分别测栅极 G 与发射极 E 之间的正反向特性，万用表两次所测的数值都为最大，这时可判定 IGBT 模块门极正常。如果有数值显示，则门极性能变差，此模块应更换。当正反向测试结果为零时，说明所检测的一相门极已被击穿短路。门极损坏时电路板保护门极的稳压管也将击穿损坏。

对于缓冲电阻、直流电抗器、滤波电容等器件的检测方法，相对来说比较简单，这里不予介绍。

训练场 3——变频器的热态测试

所谓热态测试即在检查变频器主回路电路正常的情况下，对变频器进行上电测试。在上电前必须注意以下几点：

（1）上电之前，必须确认电源输入电压与变频器电压等级相符合，若将 380V 电压接入 220V 电压等级的变频器中将会出现炸机事故（炸电解电容、压敏电阻、整流模块等）。

（2）检查变频器各接插口是否正确连接，连接异常或者松动时可能导致变频器故障，如驱动线未插紧或插错位会导致模块损坏，在检查时应重点检查该部分线路。

（3）上电后查看直流母线电压（530V 左右）显示是否正常，有无故障显示。若有故障显示则初步判断故障原因并进行相应的维修处理；若未显示故障，则查看故障记录和运行时间，再进行空载运行，查看其输出电压是否正常，三相输出是否平衡。空载运行测试其参数都正常后，则可进行带负载测试，测试的主要指标有三相输出电压、输出电流大小是否正常，三相是否平衡，过载能力是否正常等。

8.1.2 变频器的易损件更换

变频器的易损件主要有冷却风扇和滤波用电解电容器，其寿命与使用的环境及保养状况密切相关。

训练场 1——变频器更换冷却风扇

变频器主回路中的半导体器件靠冷却风扇强制散热，以保证其工作在允许的温度范围内。若冷却风扇累计运行时间超过 20 000h 或发出异常噪声或异常振动，则应更换新的风扇，如图 8-3 所示。



图 8-3 变频器冷却风扇

由于各类型变频器的外形结构不同，因此冷却风扇所安装的位置也有所不同。更换冷却风扇时，应根据情况尽量不拆下变频器；安装风扇时，要保证中间插件可靠连接，并使风扇的风向正确。

（1）打开控制柜，取下变频器下面的盖，用螺丝刀把 R、S、T、U、V、W 上的主回路线拆掉，如图 8-4 所示。



图 8-4　拆掉主回路线

（2）由于变频器上箱和下箱是卡在一起的，这时可用螺丝刀撬一下卡扣，将上、下箱分离开，如图 8-5 所示。



图 8-5　把上、下箱分离开

（3）拔掉上、下箱之间的连接线（在变频器的上端），取走上箱，如图 8-6 所示。



图 8-6　拔掉上、下箱之间的连接线

（4）把下箱的固定螺钉（四个角）拆下，下箱就能取出来了，如图 8-7 所示。

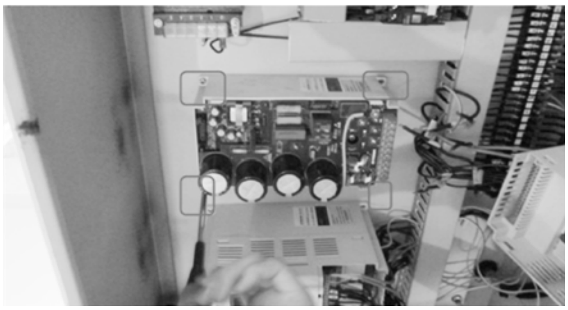


图 8-7　取出下箱

（5）把下箱底部的 4 个螺钉拆下，里面的板子就可以拿出来，此时就能看到冷却风扇，即可更换。

（6）风扇更换后，即可将机器装回下箱，先把下箱的 4 个固定螺钉拧紧，再把下箱装回控制箱固定好，把连接线插好，然后把上箱装上卡好，最后把 R、S、T、U、V、W 处的线接好，风扇更换完成。

训练场 2——变频器更换滤波电容器

在一般情况下，变频器的滤波电解电容器使用周期大约为 5 年（如图 8-8 所示）。电解电容器具有下列情形之一的，必须进行更换：外壳明显出现鼓胀（俗称“胀肚”），底面出现膨胀；电容器的封口板有明显的弯曲，两极端出现裂痕；电容器的防爆阀（俗称“保险阀”）有膨胀的痕迹，则认为防爆阀已经动作，不可再使用，必须更换；其他原因，如包装有裂痕、变色、漏液；测量电容器的容量达到标称值的 85%以下，也应该更换，可用电容器容量表测量。

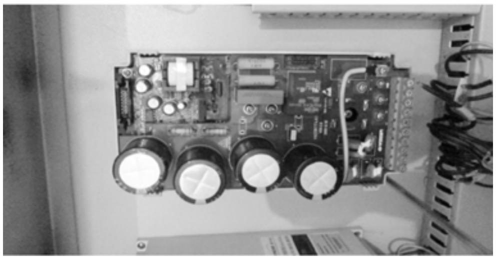


图 8-8　变频器中的电容器

（1）更换滤波电解电容器最好选择与原来相同的型号，在一时不能获得相同的型号时，必须注意以下几点：耐压、漏电流、容量、外形尺寸、极性、安装方式应相同，并选用能承受较大纹波电流、寿命长的品种。

（2）更换拆装过程中注意电气连接（螺钉连接和焊接）牢固可靠，正、负极不得接错，固定用卡箍要能牢固固定，并不得损坏电容器外绝缘包皮，分压电阻照原样接好，测量一下电阻值，应使分压均匀。

（3）已放置一年以上的电解电容器，应测量漏电流值，不得太大，装上前要先行加直流电进行老化处理。

（4）因电容器的尺寸不合适，而修理替换的电容器只能装在其他位置时，必须注意从逆变模块到电容的母线不能比原来的母线长，两根+、-母线包围的面积必须尽量小，最好用双绞线方式。这是因为电容连接母线延长或+、-母线包围的面积大会造成母线电感增加，引起功率模块上的脉冲过电压上升，造成功率模块损坏或过电压吸收器件损坏。在不得已的情况下，另将高频高压的浪涌吸收电容器用短线加装到逆变模块上，帮助吸收母线的过电压，弥补因电容器连接母线延长带来的危害。

指点迷津——久置电容器的老化处理

对于保存时间超过 3 年的电容器，在更换使用前应按下面的步骤做老化处理。

（1）加电容器额定电压 80%的电压，在常温下经过 1h。

（2）升到额定电压的 90%，常温下经过 1h。

（3）加额定电压，在常温下超过 5h 进行老化处理。

中转站——变频器电容器损坏的原因

（1）器件本身质量不好（漏电流大、损耗大、耐压不足、含有氯离子等杂质、结构不好、寿命短）。

（2）滤波前的整流桥损坏，有交流电直接进入了电容。

（3）分压电阻损坏，分压不均造成某电容首先击穿，随后发生相关其他电容也击穿。

（4）电容安装不良，如外包绝缘损坏，外壳连到了不应有的电位上，电气连接处和焊接处不良，造成接触不良发热而损坏。

（5）散热环境不好，使电容温升太高，日久而损坏。

训练场 3——继电器、接触器和熔断器的更换

1）继电器和接触器的更换

继电器和接触器经过长时间使用会发生接触不良现象，需根据其使用寿命予以更换。

2）熔断器的更换

熔断器的额定电流应大于负载电流，在正常使用条件下其使用寿命约为 10 年，可按此时间更换。

8.2　变频器检修基础

8.2.1　变频器故障诊断步骤及方法

加油站 1——变频器故障诊断的基本步骤

第一步，询问用户，了解变频器的故障现象，包括故障发生前后外部环境的变化。例如，电源的异常波动、负载的变化。

第二步，根据用户的故障描述，分析可能造成此类故障的原因。

第三步，打开被维修的设备，确认被损坏的程度，分析维修恢复的可行性。

第四步，根据被损坏器件的工作位置，通过阅读电路，分析电路工作原理，从中找出损坏器件的原因，以及一些相关的电子电路。

第五步，寻找相关的器件进行替换。

第六步，在确定所有可能造成故障、所有原因都排除的情况下，通电进行试验，在做这一步时，一般要求所有的外部条件都具备，并且不会引起故障的进一步扩大化。

第七步，在设备工作正常的情况下，可以进入系统测试的程序。

加油站 2——变频器故障诊断方法

变频器维修中常用的 10 个故障诊断方法见表 8-4。

表 8-4　变频器故障诊断方法

方　法	操 作 说 明
看	看故障现象，看故障原因点，看整块单板和整台机器
量	用万用表测量怀疑的器件，虚焊点，连锡点
测	测波形，上工装测单板
听	继电器吸合的声音，电感、变压器、接触器有无啸叫声
摸	摸 IC、MOS 管、变压器是否过热
断	断开信号连线（断开印制线或某些元器件的引脚）
短	把某一控制信号短接到另一点
压	由于板件虚焊或连接件松动，用手压紧后故障可能会消失
敲	此办法对判断继电器是否动作有较好的效果
放	在拆卸单板或测量电阻阻值前要先把电容器的电放掉

8.2.2　变频器故障诊断流程

变频器的故障大致可分为两大类，一类是变频器本身电路故障，另一类是参数设置不当或选型不当等外部原因导致的故障。下面以英威腾（Invt）公司的 CH 系列变频器为例，介绍常见故障的诊断流程。

加油站 1——整流桥损坏诊断流程

（1）18.5kW 以下的变频器，整流桥和逆变模块是集成在一块功率模块上的，整流桥损坏的同时逆变部分也极有可能损坏，同时还可能殃及开关电源电路、驱动电路。因此在维修时应将模块取下来后，检查驱动电源板是否正常，在现场修机时，应该将驱动板与模块一起更换。

整流桥损坏时，一般开关电源部分常坏的元件有开关管 K2225（K2717）、缓冲电阻及开关电源的一些小贴片电阻。

（2）18.5kW 以上的变频器，晶闸管或整流桥与逆变模块、驱动电源板是分离的，因此整流桥损坏一般只需更换晶闸管或整流桥即可。此时，一定要检查接触器是否有击穿或者卡死现象。

整流桥损坏诊断流程如图 8-9 所示。

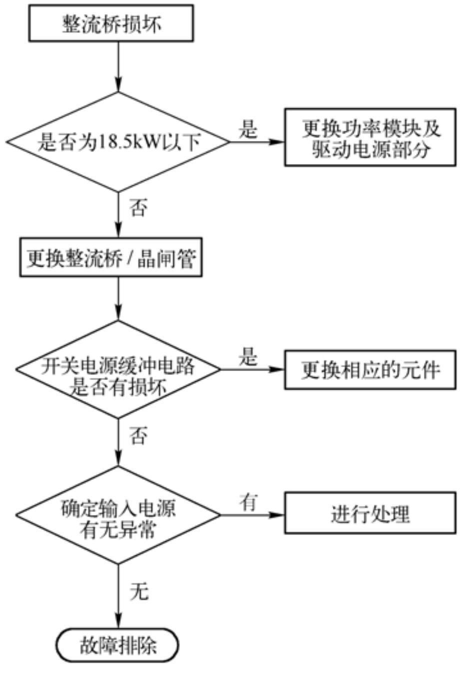


图 8-9　整流桥损坏诊断流程

加油站 2——逆变器损坏诊断流程

（1）逆变模块损坏通常会报 OUT1、OUT2、OUT3 等故障，其分别对应逆变模块 U、V、W 相故障，有时也会报 SPO。

（2）测量逆变部分，更换损坏的逆变模块。

（3）测量驱动板上的驱动波形是否正常，若不正常则将驱动板一起更换，更换之后测量主回路电路正常后还不能立即上电测试，应该脱开电动机连接电缆。在确定无任何故障的情况下，运行变频器。

（4）确定控制板保护电路是否异常，若有异常应更换。

逆变器损坏诊断流程如图 8-10 所示。

加油站 3——变频器上电无显示诊断流程

（1）检查各板间连线是否有松动，键盘口是否有粉尘或腐蚀，重新连线。

（2）确认键盘是否损坏，若是则应更换键盘。

（3）检查缓冲电阻是否烧坏，若是，更换缓冲电阻。

（4）检查开关电源输出电压是否正常，若不正常则更换开关电源板。

变频器上电无显示检修流程如图 8-11 所示。

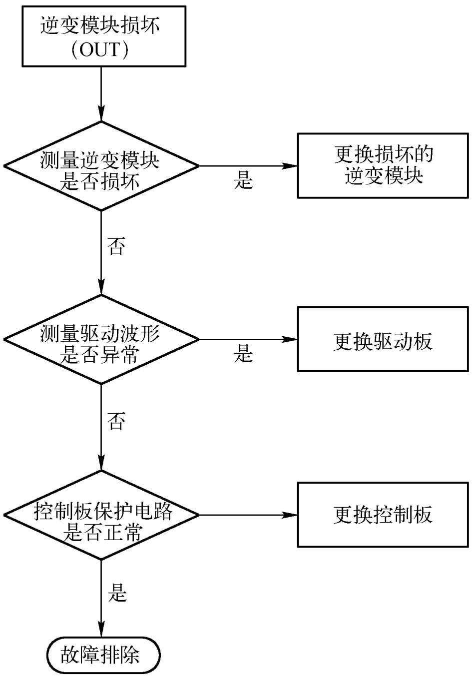


图 8-10　逆变器损坏诊断流程

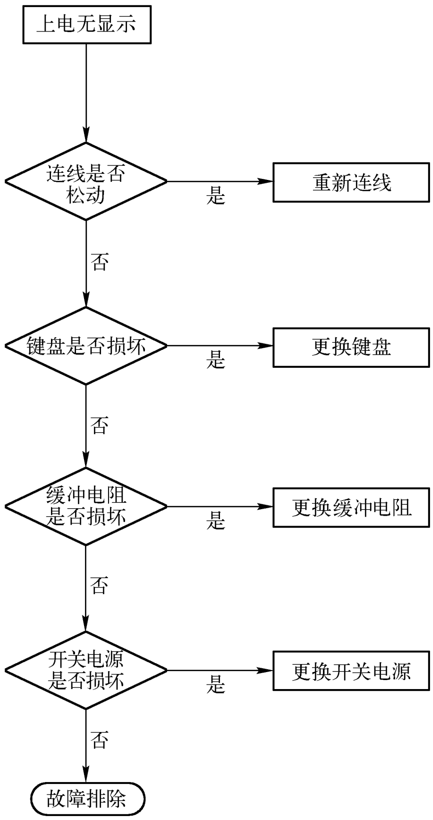


图 8-11　变频器上电无显示检修流程

加油站 4——P.OFF 故障诊断流程

（1）测量输入主回路电压及直流母线电压是否太低，380V 的输入电压一般直流母线电压

在 350V 以下；220V 的输入直流母线电压一般在 180V 以下才会出现此故障。

（2）确定控制板母线电压检测部分有无问题，若有问题更换控制板。

（3）如果电压都正常，说明此故障来自缺相检测电路，用万用表测量输入缺相检测电路 D1、D2、D3 二极管及 51kΩ贴片电阻是否烧坏；51kΩ直流母线检测电阻烧坏也会出现 P.OFF 故障。

（4）如果出现 P.OFF 故障，可先把 Pb.00 设为 0，看是否出现此故障，若没有即可确定非电压过低造成。有可能输入电压缺相不平衡或缺相检测线路出现故障，如果检测电路故障则将 Pb.00 设为 0，机器可正常工作。CHE 变频器没有此项功能。

P.OFF 故障诊断流程如图 8-12 所示。

加油站 5——电流检测 ITE 故障诊断流程

（1）检查控制板排线是否松动，若松动，请重新拔插排线。

（2）测量开关电源+5V、±15V 电源是否正常，若不正常更换开关电源板。

（3）检查霍尔或电流整定电路是否正常，若不正常更换霍尔板或驱动板。

（4）检查控制板上的电流检测部分是否正常，若不正常请更换控制板。

电流检测 ITE 故障诊断流程如图 8-13 所示。

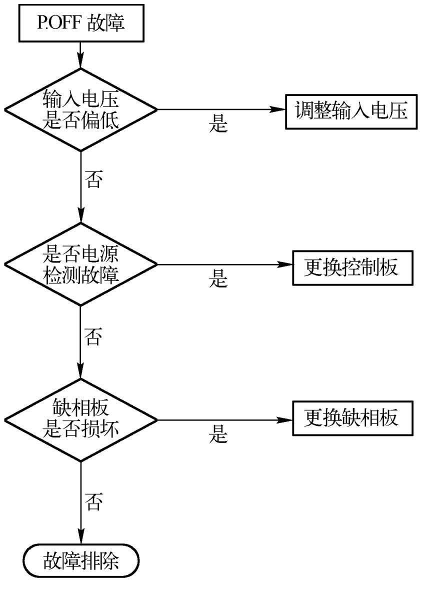


图 8-12 P .OFF 故障诊断流程

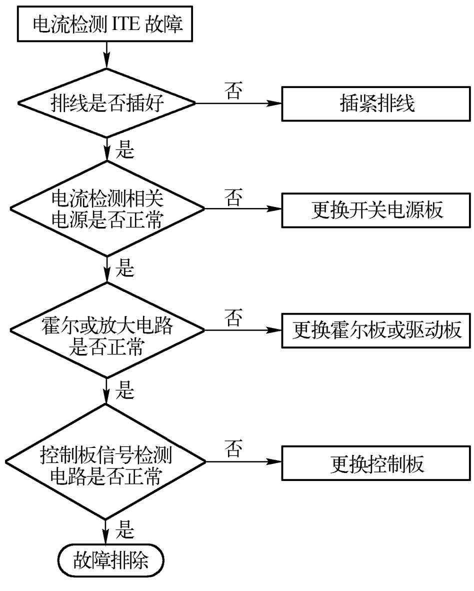


图 8-13 电流检测 ITE 故障诊断流程

加油站 6——输入缺相 SPI 故障诊断流程

（1）检查输入电源是否缺相，若有缺相，请调整电源使三相电源平衡。

（2）短接驱动板上的 PL 点，若故障未解除，更换驱动板。

（3）设置 PL=0，看故障是否解除，若未解除请检查排线。

（4）若故障解除，请更换控制板。

输入缺相 SPI 故障诊断流程如图 8-14 所示。

加油站 7——输出缺相 SPO 故障诊断流程

（1）检查变频器内部接线是否松动，若是请重新拔插各连接线。

（2）测量逆变模块是否有损坏，若有请更换相应的模块，一般来说应将驱动板一起更换。

（3）检查输出线路、负载是否有短路，若有请排除。

（4）确认输出线路是否过长，一般不超过 10m，过长的输出线路应加装电抗器或者滤波器。

（5）检查驱动板、控制板信号部分是否正常，若不正常应更换相应的电路板。

输出缺相 SPO 故障诊断流程如图 8-15 所示。

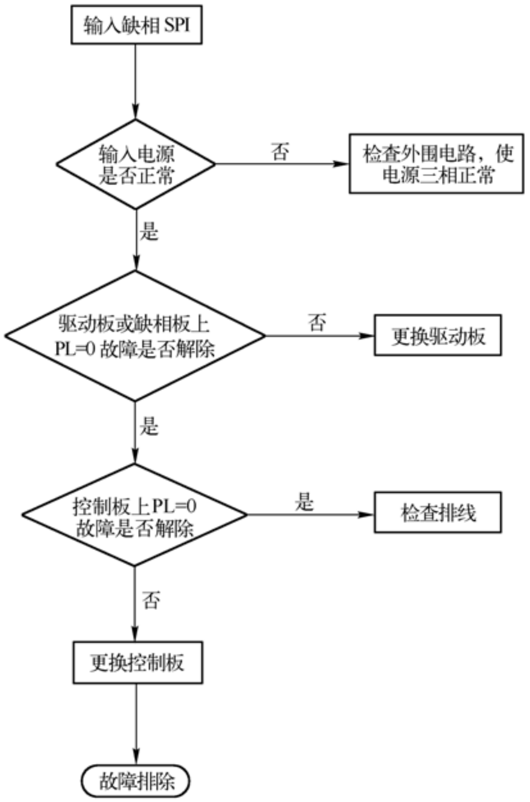


图 8-14　输入缺相 SPI 故障诊断流程

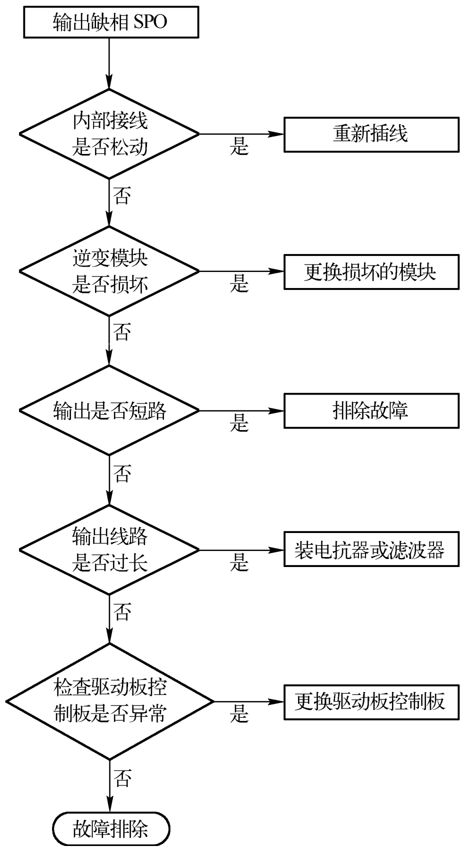


图 8-15　输出缺相 SPO 故障诊断流程

加油站 8——变频器过热 OH1、OH2 故障诊断流程

（1）检查变频器风扇是否卡住或损坏，若是请排除或更换风扇。

（2）查看变频器散热风道是否堵塞，若是请清理风道。

（3）检查热敏电阻阻值是否正常，若不正常请更换热敏电阻。

（4）注意观察变频器是否长时间过载运行，长时间过载运行会增加功率模块热耗，解决方法见变频器 OL2 过载处理流程。

（5）检查风扇电源板是否烧坏，若有损坏更换新的风扇电源板。

（6）检查控制板上的温度检测信号是否异常，若异常更换控制板。

变频器过热 OH1、OH2 故障诊断流程如图 8-16 所示。

加油站 9——电动机过载故障诊断流程

（1）检查电动机额定参数设置是否正确，若不正确请重新设置。

（2）检查频率在 50Hz 时变频器输出电压是否为 380V，若不是，应调整电动机空载电流至输出为 380V。

（3）查看电动机保护参数设置是否正确（CHF：Pb.02，Pb.03；CHE：Pb.00，Pb.01；CHV：Pb.02，Pb.03），正确设置保护参数。

（4）查看电动机是否有堵转现象，若有堵转现象应设法排除。

（5）查看键盘显示电流是否与实际测量电流一致，若一致，说明电动机选型偏小，应更换更大功率的电动机。

（6）若键盘显示电流与实际电流不一致，则表明变频器电流检测部分有故障，可参照 OC 故障处理流程处理该故障。

电动机过载诊断流程如图 8-17 所示。

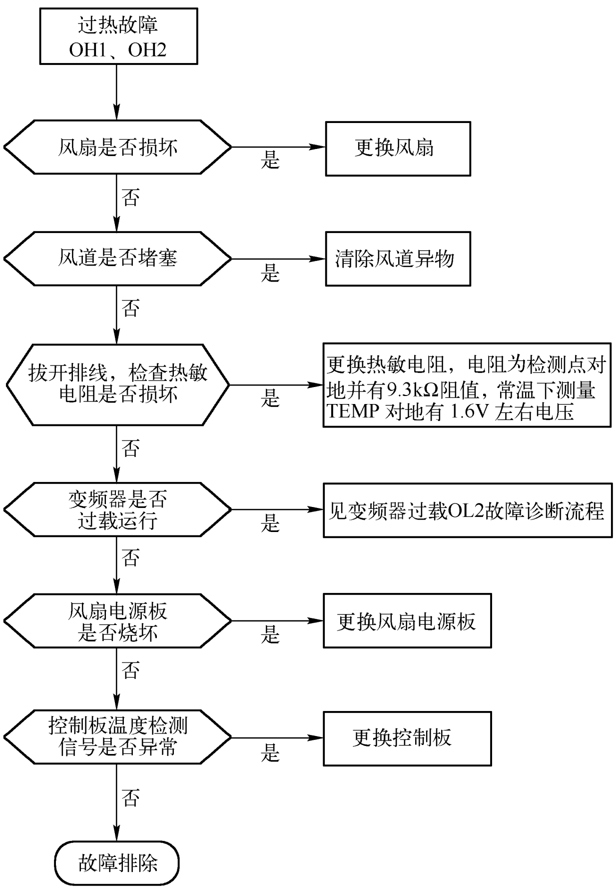


图 8-16　变频器过热 OH1、OH2 故障诊断流程

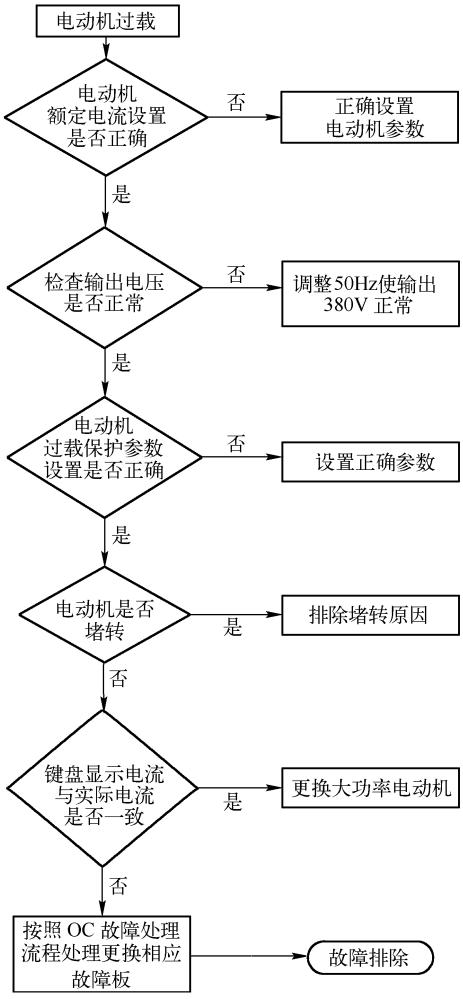


图 8-17　电动机过载诊断流程

加油站 10——变频器过载故障诊断流程

（1）确定是否对运行中的电动机实施再启动，若实施，可考虑让电动机停稳后再启动或设置转速追踪有效。

（2）查看变频器加速时间是否太短，在工艺允许的情况下延长加速时间。最佳方法是更换更大功率的变频器。

（3）检查输出电压在 50Hz 时是否偏低，可调整电动机空载电流使输出电压达到 380V。

（4）查看键盘显示电流与实际是否一致，若一致建议用户更换更大功率变频器。

（5）查看变频器机型设置是否正确，是否对应所带负载类型，若不正确需重新设置机型。

（6）如果电流、机型都正确，需检查驱动板或者控制有无异常，可按 OC 故障流程处理。

变频器过载故障诊断流程如图 8-18 所示。

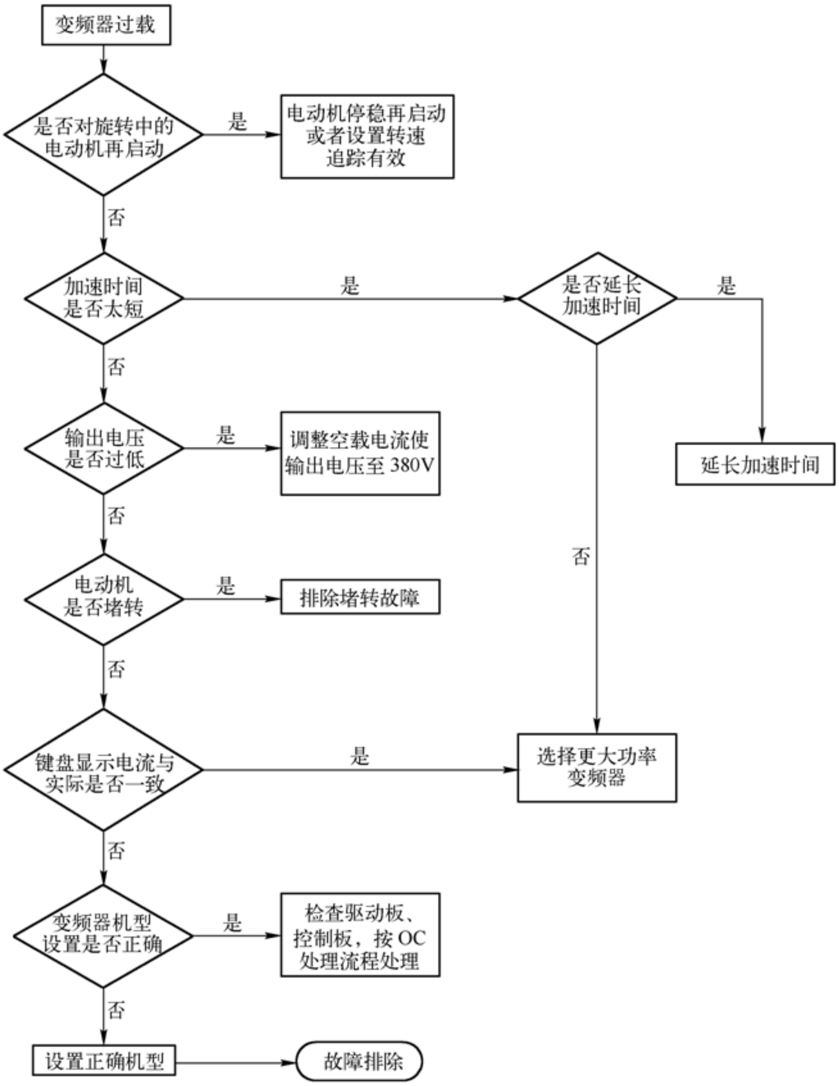


图 8-18　变频器过载故障诊断流程

加油站 11——电动机自学习故障诊断流程

（1）检查自学习前是否接通电动机，确保电动机已和变频器正确连接。

（2）查看电动机容量和变频器容量是否匹配，若变频器容量过小，应更换和电动机容量匹配的变频器。

（3）查看电动机额定参数设置是否正确，确保学习前已正确设置电动机额定参数。

（4）检查自学习时变频器 U、V、W 端有无电流输出，若没有电流需检查驱动板和控制板有无异常，若有异常，应更换相应的故障板。

（5）检查变频器自学习后自学习所得的参数是否和实际偏差太大，可进行多次学习，取比较接近的参数。

电动机自学习故障诊断流程如图 8-19 所示。

加油站 12——加速运行过电流 OC1 故障诊断流程

（1）确定是否对运行中的电动机实施再启动，若实施，可让电动机停稳后再启动或者设置转速追踪有效。

（2）查看变频器加速时间是否太短，在工艺允许的情况下可延长加速时间，或更换更大功率的变频器。

（3）确认变频器在加速中负载是否发生突变，若是，可提高保护值或延长加速时间。

（4）检查输出电压在 50Hz 时是否偏低，可调整电动机空载电流使输出电压达到 380V。

（5）检查输出线路是否过长，一般超过 10m 需加装输出电抗器或滤波器。

加速运行过电流 OC1 故障诊断流程如图 8-20 所示。

加油站 13——减速运行过电流 OC2 故障诊断流程

（1）查看电动机自学习参数中电动机空载电流是否在电动机额定电流 60%以下，若偏差较大，可重新自学习。

（2）查看变频器减速时间，负载转动惯量是否过大，负载在减速过程中是否有突变的情况，任意一项都可以延长减速时间。此时，可调整 Pb 保护参数组（CHF：Pb.10=0，Pb.09 设小点；CHE：将 Pb.06、Pb.07 设小点；CHV：Pb.11=1，Pb.12 设小点，Pb.13 设在 10Hz 以下）。

（3）若调整参数仍不能解决可判定变频器选型功率偏小，建议更换更大功率的变频器。

减速运行过电流 OC2 故障诊断流程如图 8-21 所示。

加油站 14——恒速过电流 OC3 故障诊断流程

（1）检查变频器参数设置是否正确，或电动机自学习参数是否正确，不正确请按实际情况更改正确的参数。

（2）检查变频器输出回路有无漏电，若有漏电应排除。确定变频器输出线路小于 50m，如果输出线路过长，则应加装输出电抗器或者输出滤波器。

（3）确定变频器在恒速运行中负载是否发生突变，调整参数使限流保护有效（CHF：

Pb.10=0；CHV：Pb.11=1；CHE：调整 Pb.06）。

恒速过电流 OC3 故障诊断流程如图 8-22 所示。

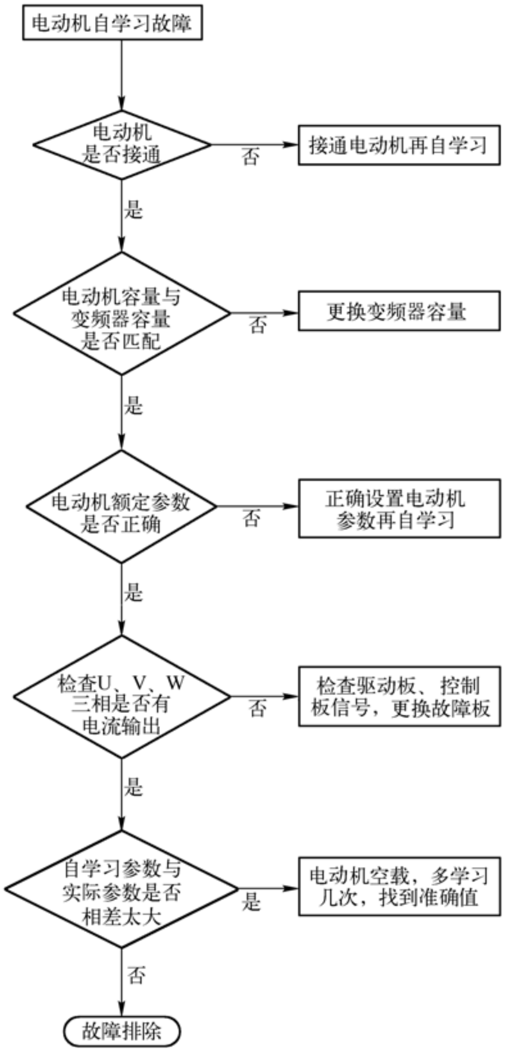


图 8-19　电动机自学习故障诊断流程

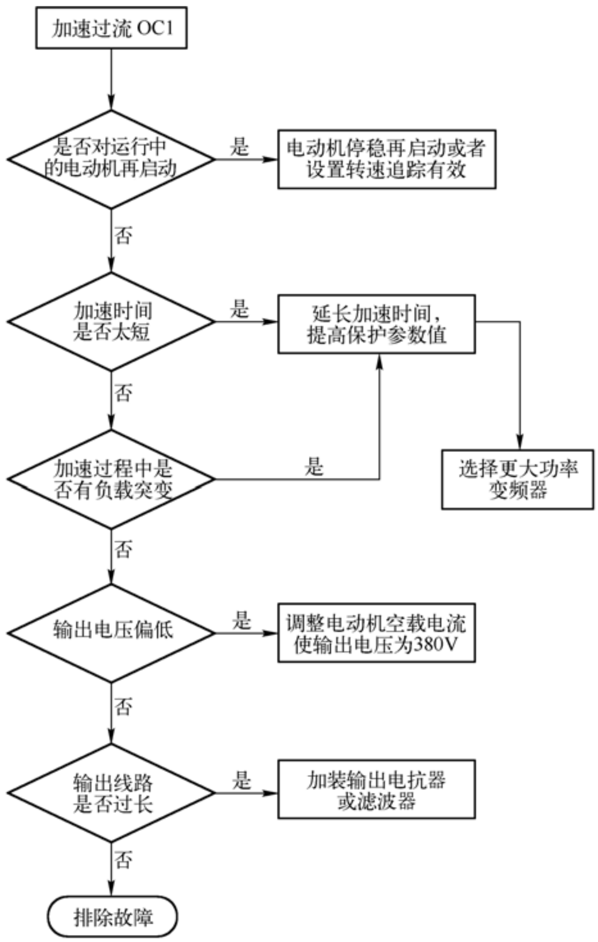


图 8-20　加速运行过电流 OC1 故障诊断流程

加油站 15——加速过电压 OU1 故障诊断流程

（1）检查输入电压是否偏高，调整电压至正常范围（380V±15%），使直流母线电压不高于 800V。

（2）检查变频器参数设置是否正确，或电动机自学习参数是否正确，不正确应按实际情况更改正确的参数。

（3）检查加速时间是否太短，在条件允许时适当延长加速时间。

（4）确定变频器在加速过程中是否有外力拖动电动机，若有，可设法取消此外力或加装制动装置。

加速过电压 OU1 故障诊断流程如图 8-23 所示。

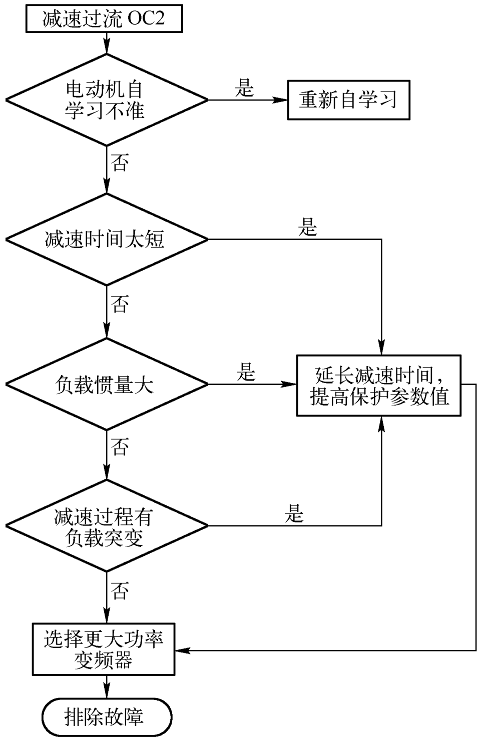


图 8-21　减速运行过电流 OC2 故障诊断流程

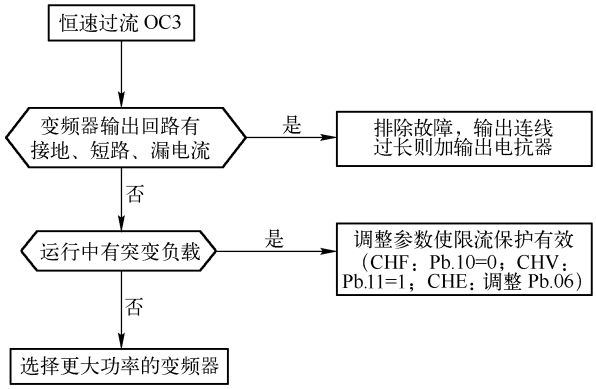


图 8-22　恒速过电流 OC3 故障诊断流程

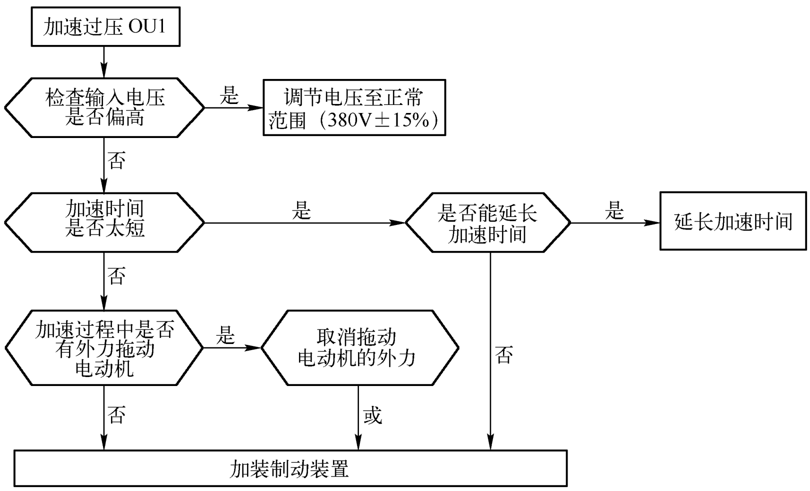


图 8-23　加速过电压 OU1 故障诊断流程

加油站 16——减速过电压 OU2 故障诊断流程

（1）检查输入电压是否偏高，调整电压至正常范围（380V±15%），使直流母线电压不高于 800V。

（2）检查减速时间是否太短，在条件允许时适当延长减速时间。

（3）查看负载转动惯量是否过大，或者负载在加速过程中有外力拖动电动机。若有，取消该外力，或改为自由停车。

（4）若无法满足要求，可加装制动装置。

减速过电压 OU2 故障诊断流程如图 8-24 所示。

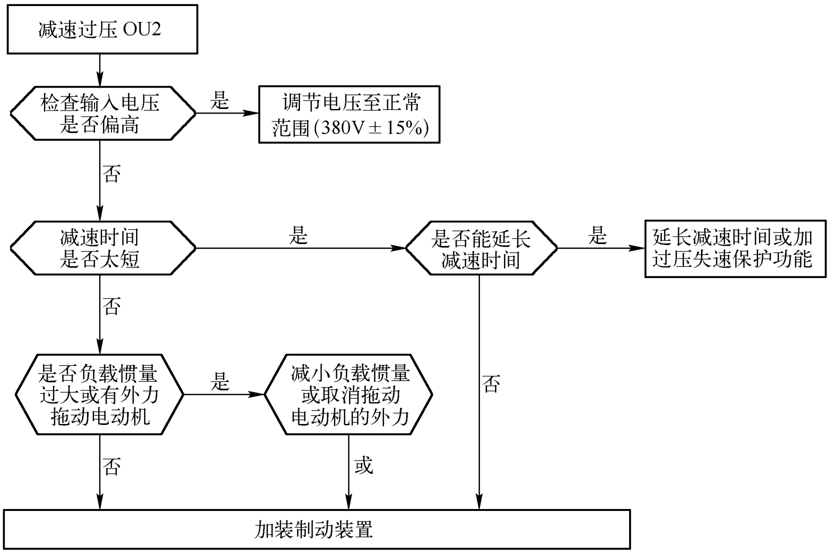


图 8-24　减速过电压 OU2 故障诊断流程

加油站 17——恒速过电压 OU3 故障诊断流程

（1）检查输入电压是否偏高，调整电压至正常范围（380V±15%），使直流母线电压不高于 800V。

（2）检查变频器参数设置是否正确，或电动机自学习参数是否正确，不正确应按实际情况更改正确的参数，并重新进行电动机参数自学习。

（3）检查变频器在运行中是否有突加负载造成过流失速，对此可以调整参数（CHF：Pb.10=1；CHE：Pb.04=1；CHV：Pb.09=1）。

（4）若无法满足要求，可加装能耗制动装置。

恒速过电压 OU3 故障诊断流程如图 8-25 所示。

加油站 18——通信故障 CE 诊断流程

（1）检查 PC 组参数设置是否正确，对不正确的参数进行修正。

（2）检查控制板上 J7 跳线是否短接在通信功能上，若不是应短接在通信功能上。

（3）对于 CHF 和 CHE 机型，检查控制板上 U10 是否焊有 ADM483 通信芯片，若没有应将 ADM483 芯片焊上。

（4）检查通信接口配线及控制板通信部分电路有无异常，若有，应更换损坏或不良器件。

通信故障 CE 诊断流程如图 8-26 所示。

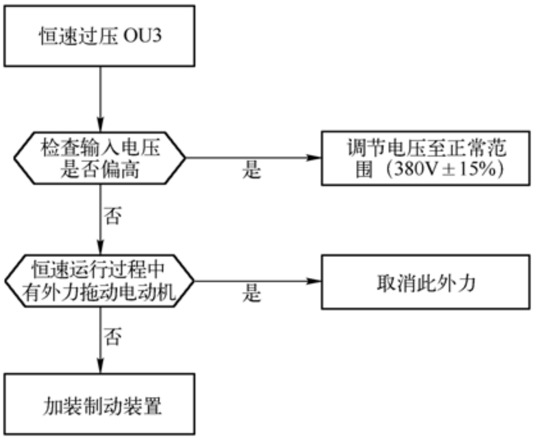


图 8-25　恒速过电压 OU3 故障诊断流程

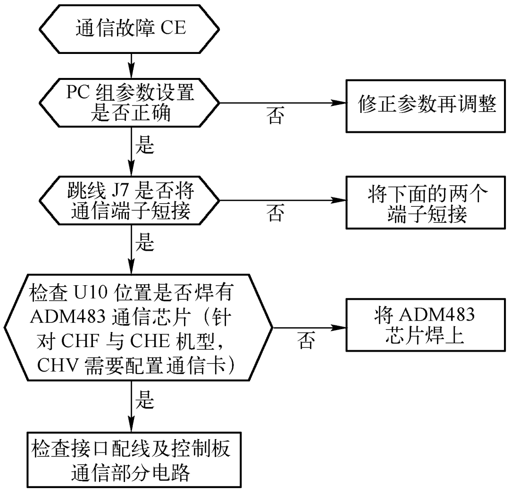


图 8-26　通信故障 CE 诊断流程

加油站 19——母线电压低 UV 故障诊断流程

（1）检查进线电压是否过低或电源电压波动过大，若是，调整电网电压至正常范围。

（2）查看键盘显示直流母线电压是否正常（应为进线电压的 1.35 倍），检查 PE.08 电压等级设置是否正确，若不是标准电压，应调整至适当电压。

（3）检查驱动板上母线电压测试点 CVD 电压是否正常（U_{cvd}/U_{dc}=3.3/1 000），检查控制板上母线电压检测电路是否正常，若不正常更换相应的损坏元件。

（4）对 15kW 以下的机器检测开关变压器是否正常，损坏的器件应予以更换。

母线电压低 UV 故障诊断流程如图 8-27 所示。

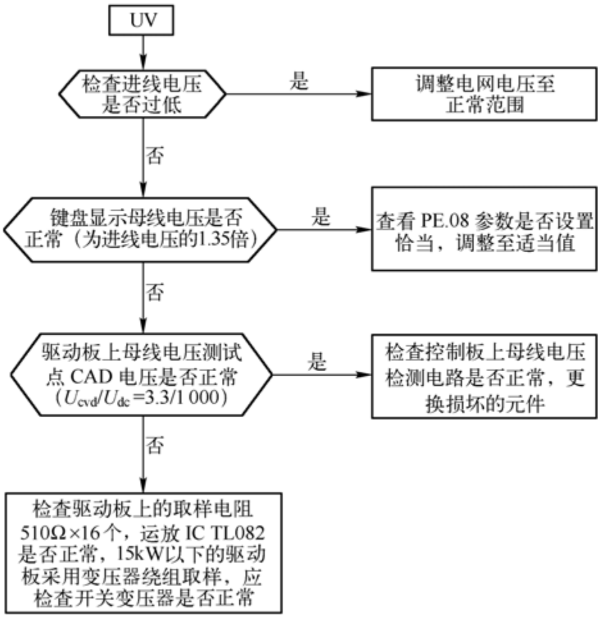


图 8-27　母线电压低 UV 故障诊断流程

8.2.3　变频器维修常用方法及应用

变频器的故障往往只有一点，而对于维修者最重要的就是找到故障点，有针对性地处理问题，尽量减少无用的拆卸，尤其是要减少使用烙铁的次数。除了维修经验，掌握正确的检查方法是非常必要的。正确的检查方法可以帮助维修者由表及里、由繁到简，快速地缩小检测范围，最终查出故障并予以修复。

加油站 1——报警参数检查法

所有的变频器都以不同的方式给出故障指示，对于维修者来说是非常重要的信息。通常情况下，变频器会针对电压、电流、温度、通信等故障给出相应的报错信息，而且大部分采用微处理器或 DSP 处理器的变频器会有专门的参数保存 3 次以上的报警记录。ABB 变频器报警参数见表 8-5，日立变频器 SJ700 故障代码见表 8-6。

表 8-5　ABB 变频器报警参数

报警代码	面板显示	故障原因
2001	OVERCURRENT 过流	限流控制器被激活。应检查下列各项： （1）电动机过载； （2）加速时间过短（参数 2202，2205 减速时间）； （3）电动机故障，电动机电缆故障或接线错误
2002	OVERVOLTAGE 过压	过压控制器被激活。应检查下列各项： （1）输入电源静态或零态过压； （2）减速时间过短（参数 2203，2206 减速时间）
2003	UNDERVOLTAGE 欠压	欠压控制器被激活。应检查电源欠压
2004	DIRLOCK 方向锁定	不允许改变方向。可能的原因是： 不要改变电动机的旋转方向（参数 1003）
2005	I/O COMM I/O 通信	现场总线通信超时。应检查下列各项： （1）故障设置（参数 3018，3019）； （2）通信设置（参数 51，53）； （3）连接不好或导线上有超声波
2006	AI1 LOSS AI1 丢失	模式输入 1 丢失，或者给定小于最小设定。应检查下列各项： （1）检查输入源和连接； （2）设置的最小值（参数 3021）； （3）设置的报警、故障动作（参数 3001）
2007	AI2 LOSS AI2 丢失	模式输入 2 丢失，或者给定小于最小设定。应检查下列各项： （1）检查输入源和连接； （2）设置的最小值（参数 3022）； （3）设置的报警、故障动作（参数 3001）
2008	PANEL LOSS 控制盘丢失	控制盘通信丢失。应检查下列各项： （1）传动处于本地控制模式（控制盘显示 LOC）； （2）传动处于远程控制模式（控制盘显示 REM），应对相关参数进行设置（检查参数 3002，参数组 10 和参数组 11 的设置）
2009	DEVICE OVERTEMP 传动过温	传动散热器过热。应检查下列各项： （1）检查风机故障； （2）空气流通受阻； （3）散热器积尘； （4）环境温度过高； （5）电动机过载
2010	MOT OVERTEMP 电动机过温	电动机发热，主要是基于变频器估算或者温度反馈值。这种报警信息表明电动机过载故障，跳闸即将发生。应检查下列各项： （1）检查电动机过载情况； （2）调整用于估算的值（参数 3005～3009）

续表

报警代码	面板显示	故障原因
2011	保留	未用
2012	MOTOR S TALL 电动机堵转	电动机工作在堵转区间（参数 3010～3012）
（2013）	AUTO RESET 自动复位	该报警信息表明传动将要进行自动故障复位，这可能会启动电动机。使用参数组 31 来设置自动复位（注：故障时没有输出）
（2014）	AUTO CHANGE 自动切换	这个报警信息表明 PFC 自动切换功能被激活（注：故障时没有输出）。 可使用参数组 81 和采用宏来设置 PFC 控制的应用
2015	PFC INTERLOCK PFC 互锁	这个报警信息表明 PFC 互锁功能被激活，电动机不能启动。应检查下列各项： （1）所有电动机（采用了自动切换）； （2）调速电动机（不采用自动切换）
2016	保留	—
2017 O	FF BUTTON	—
（2018）	PID SLEEP PID 睡眠	这个报警信息表明 PID 睡眠功能被激活，睡眠结束后电动机加速运行（使用参数 4022～4026 设置 PID 睡眠功能）。（注：故障时没有输出）
2019	保留	—
2020	超越模式	超越模式处于激活状态
2021	START ENABLE 1 MISSING 启动允许 1 丢失	该报警信号表明启动信号丢失（使用参数 1608 的设置）
2022	START ENABLE 2 MISSING 启动允许 2 丢失	该报警信号表明启动信号丢失（使用参数 1609 的设置）
2023	EMERGENCY STOP 急停	激活紧急停车功能
2024	保留	—
2025	FIRST START 首次启动	当电动机数据改变后首次进行标量跟踪启动时，这个报警信息会出现 10～15s。

表 8-6　日立变频器 SJ700 故障代码

代　　码	含　　义	内　　容	故障原因	处理措施
E01	恒速运转过流	电动机轴堵转或急剧加速时，有大电流流过变频器，可能导致故障。因此在流过规定以上的电流时，则会切断输出，显示故障。此保护通过 CT（电流互感器）来检测过电流。保护回路在变频器输出电流 220%时自动动作，跳闸	（1）负荷突然变小； （2）输出短路； （3）L-PCB 与 IPM-PCB 连接缆线出错； （4）接地故障	（1）增加变频器容量； （2）使用矢量控制方式
E02	减速运转过流		（1）速度突然变化； （2）输出短路； （3）接地故障； （4）减速时间太短； （5）负载惯量过大； （6）制动方法不合适	（1）检查输出各项； （2）延长减速时间； （3）使用模糊逻辑加减速； （4）检查制动方式
E03	加速运转过流		（1）负荷突然变化； （2）输出短路； （3）接地故障； （4）启动频率调整太高； （5）转矩提升太高； （6）电动机被卡住； （7）加速时间过短； （8）变频器与电动机之间连接电缆过长	（1）使用矢量控制 A0 选 4； （2）转矩提升； （3）延长加速时间； （4）增大变频器的容量； （5）使用模糊逻辑加减速控制功能； （6）缩短变频器与电动机之间的距离
E04	停止时过流		（1）CT 损坏； （2）功率模块损坏	更换已损坏的器件
E05	过载	监视变频器输出电流，内置的电子热保护功能检测到电动机过负载时切断输出，显示故障	（1）负荷太重； （2）电子热继电器门限设置过小	（1）减轻负荷或者增大变频器的容量； （2）增大电子热继电器门限值

续表

代　码	含　义	内　容	故障原因	处理措施
E06	制动电阻过载保护	在 BRD 回路的使用率超过 b090 所设定的使用率时，切断输出，显示保护	（1）再生制动时间过长； （2）L-PCB 与 IPM-PCB 连接缆线出错	（1）延长减速时间； （2）增大变频器的容量； （3）A38 设定为 00； （4）提高制动使用率
E07	过压	若 P-N 间直流电压过高则可能导致损坏。由于来自电动机的再生能量、输入电压的上升导致 P-N 间的直流电压超过允许电压值，变频器切断输出，显示保护	（1）速度突然减小； （2）负荷突然脱落； （3）接地故障； （4）减速时间太短； （5）负荷惯性过大； （6）制动方法不正确	（1）延长减速时间； （2）增大变频器的容量； （3）外加制动单元
E08	EEPROM 故障	由于外来噪声或温度异常上升导致内置 EEPROM 发生异常时，切断输出，显示故障。有时会显示 CPU 故障	（1）周围噪声过大； （2）机体周围环境温度过高； （3）L-PCB 损坏； （4）L-PCB 与 IPM-PCB 连接线松动或损坏； （5）变频器制冷风扇损坏	（1）移去噪声源； （2）机体周围应便于散热，空气流通应良好； （3）更换制冷风扇； （4）更换相应元气件； （5）重新设定参数
E09	欠压	由于变频器的输入电压下降，会使控制回路无法正常工作，因此若输入电压低于额定电压以下时，切断输出	（1）电源电压过低； （2）接触器或低压断路器的触点不良； （3）10min 内瞬间掉电次数过多； （4）启动频率调整太高； （5）F11 选择过高； （6）电源主线端子松动； （7）同一电源系统有大的负载启动； （8）电源变压器容量不够	（1）改变供电电源质量； （2）更换接触器或低压断路器； （3）将 F11 设为 380V； （4）将主线各节点接牢； （5）增加变压器容量
E10	CT 出错	在变频器内置 CT 发生异常时，切断输出。上电时，CT 的输出电压偏高而显示故障	（1）CT 损坏； （2）CT 与 IPM-PCB 上 J51 连线松动； （3）逻辑控制板上 OP1 损坏； （4）RS、DM、ZNR 可能损坏	（1）更换 CT； （2）大部分问题是 OP1 损坏，应更换
E11	CPU 出错	内置 CPU 发生误动作或异常时，切断输出而显示故障	（1）周围噪声过大； （2）误操作； （3）CPU 损坏	（1）重新设置参数； （2）移去噪声源； （3）更换 CPU
E12	外部跳闸	外部机器、设备发生异常，切断输出	外部控制线路有故障	检测外部控制线路
E13	USP 出错	在已向变频器输入运行信号的情况下再通电，显示故障（选择 USP 功能时）	当选择此功能时，一旦 INV 处于运行状态，则突然来电会发生此故障信息	变频器停止运行操作时，应将运行开关关闭后再拉掉电源，不能直接拉电
E14	INV 输出接地故障	上电时在检测出变频器输出部和电动机间的接地故障时，保护变频器	（1）周围环境过于潮湿，电缆绝缘性下降或电动机绝缘性下降； （2）变频器输出接地不良； （3）电动机接地不良； （4）加、减速时间过短； （5）CT 故障、L-PCB 故障； （6）IPM 损坏； （7）L-PCB 与 IPM-PCB 连接线松动或损坏； （8）如果使用电控柜，可能输出/输入电缆磨损与电控柜连接一体带电； （9）变频器输出电缆断线； （10）输出端子松动； （11）电动机线圈断线； （12）电动机功率太小； （13）由于噪声引起的误动作	（1）断开 INV 的输出端子，用摇表检查电动机的绝缘性能； （2）更换线缆，或烘干电动机； （3）更换其他零部件； （4）有时 IPM-PCB 是好的，但 DM 损坏
E15	输入过电压保护	变频器在停止状态下，输入电压高于规定值并持续 100s 时，显示故障	（1）电源电压过高； （2）F11 设置过低； （3）AVR 功能没有起作用	（1）降低电源电压； （2）根据实际情况选择 F11 值； （3）输入侧安装 AC 电抗器

续表

代　　码	含　　义	内　　容	故障原因	处理措施
E16	瞬时停电保护	瞬时停电超过 15ms 时，切断输出。若断电时间过长，则认为是正常断电	（1）电源电压过低； （2）接触器或低压断路器触点不良	（1）检查电源电压； （2）检修接触器或低压断路器
E20	风扇转速低，温度高，显示故障	发生温度异常时，若检测出冷却风扇转速低下，则会显示此故障	冷却风扇故障	检修或者更换冷却风扇
E21	过热保护	由于环境温度过高等原因导致主回路温度上升时，切断变频器输出	（1）冷却风扇不转/变频器内部温度过高； （2）散热片堵塞	（1）检修或者更换冷却风扇； （2）清扫散热片上的灰尘
E23	门阵列通信故障	内置 CPU 和门阵列之间的通信发生异常时跳闸	—	—
E24	缺相保护	在输入缺相选择为有效时，跳闸以防止因输入缺相造成变频器损坏。缺相时间超过 1s 时跳闸	（1）三相电源缺相； （2）接触器或低压断路器触点不良； （3）L-PCB 与 IPM-PCB 连线不良； （4）IPM 与 DM 连线不良（仅限 30kW 以上变频器）	（1）检查供电电源； （2）更换接触器或低压断路器； （3）换一块 L-PCB 故障不能排除，再换连线故障仍不能排除，则 IPM-PCB 损坏，应更换 IPM-PCB
E25	主回路异常	由于噪声干扰导致的误动作或主模块的损坏等造成的门阵列不能确认时跳闸	（1）噪声干扰； （2）主模块的损坏	（1）采取屏蔽措施隔离噪声源； （2）检查并排除主回路故障
E30	IGBT 故障	发生瞬时过流、模块温度异常，驱动电源低下时，切断变频器输出	暂态过流	驱动部分或模块损坏
E35	热敏电阻故障	检测连接在 TH 端子上的电动机内部热敏电阻的电阻值过高，切断变频器输出	热敏电阻与变频器智能端子连接后如果电动机温度过高，变频器跳闸	—
E36	制动异常	在选择了 b120（制动控制功能选择）为 01 时，变频器在制动释放输出后，在 124（制动确认等待时间）内不能确认制动开关信号状态	—	—
E38	低速过载保护	在 0.2Hz 以下的极低速域。过载时，变频器内置的电子热保护会检测并切断变频器输出	—	—
—	上面四横杠	—	（1）复位信号被保持； （2）面板和变频器之间出现错误	（1）按下（1 键或 2 键）键即能恢复； （2）再一次接通电源
	中间四横杠	—	（1）关断电源时显示； （2）输入电压不足时	—
	下面四横杠	—	无任何跳闸历史时显示	—
	闪烁	—	（1）逻辑控制板损坏； （2）开关电源损坏	（1）检修逻辑控制板； （2）检修开关电源

注：故障代码小数点后面数字的意思，说明如下。
0：上电时/复位端子 ON 状态下的初始化；1：停止时； 2：减速时； 3：恒速时； 4：加速时； 5：在频率为 0 状态下输入运行指令时；6：启动时； 7：直流制动中； 8：过载限制中； 9：驱动/伺服 ON 中



训练场 1——报警参数检查法检修变频器

（1）某变频器无法运行，LED 显示“UV”（Under Voltage 的缩写），该报警为直流母线欠压。

因为该型号变频器的控制回路电源不是从直流母线取的，而是从交流输入端通过变压器单独整流出的控制电源，所以判断该报警应该是真实的。因此从电源入手检查，输入电源电压正确，滤波电容电压为 0V。由于接触器未动作，所以与整流桥无关。故障范围缩小到充电电阻，断电后用万用表检测发现充电电阻的阻值为无穷大。更换电阻，故障排除。

（2）有一台三垦 IF 11kW 的变频器用了 3 年多后，偶尔上电时显示“AL5”（Alarm 5 的缩写），该报警为 CPU 被干扰。

经过多次观察发现是在充电电阻短路接触器动作时出现的。怀疑是接触器造成的干扰，于是在控制脚加上阻容滤波电路后，故障不再发生。

（3）一台富士 E9 系列 3.7kW 变频器，在现场运行中突然出现 OC3（恒速中过流）报警停机，断电后重新上电运行出现 OC1（加速中过流）报警停机。

先拆掉 U、V、W 到电动机的导线，用万用表测量 U、V、W 之间电阻为无穷大，空载运行，变频器没有报警，输出电压正常。可以初步断定变频器没有问题。原来是电动机电缆的中部有一个接头，用木板盖在地坑的分线槽中，绝缘胶布老化，工厂打扫卫生进水，造成输出短路。更换该电缆，故障排除。

（4）三垦 SVF303，显示“5”，该报警为直流过压。

经检查，电压值是由直流母线取样后（530V 左右的直流）通过电阻分压，再由光电耦合器进行隔离，当电压超过一定阈值时，光电耦合器动作，给处理器一个高电平，从而产生过压报警。检查分压电阻没有变值，更换光电耦合器，故障排除。

指点迷津

变频器控制系统常见的故障类型主要有过电流、短路、接地、过电压、欠电压、电源缺相、变频器内部过热、变频器过载、电动机过载、CPU 异常、通信异常等。当发生这些故障时，变频器保护会立即动作，停机，并显示故障代码或故障类型，大多数情况下可以根据显示的故障代码，迅速找到故障原因并排除故障。但也有一些故障的原因是多方面的，并不是由单一原因引起的，因此需要从多个方面查找，逐一排除才能找到故障点并进行维修。

由以上实例不难看出，变频器的报警提示给出了处理问题的方向，抓住变频器的报警提示对处理故障非常重要。

加油站 2——类比检查法

类比检查法可以是自身相同回路的类比，也可以是故障板与已知好板的类比。它可以帮助维修者快速缩小检查范围。

训练场 2——类比检查法检修变频器

（1）三垦 MF 15kW 变频器损坏，用户说不清具体情况。

首先用万用表测量输入端 R、S、T，除 R、T 之间有一定的阻值以外其他端子相互之间电阻为无穷大，输入端子 R、S、T 分别对整流桥的正极或负极之间呈现出二极管特性。为什么 R、T 之间与其他两组不一样呢？原来 R、T 端子内部有控制电源变压器，所以有一定的阻值。

由以上可以看出输入部分没有问题。同样用万用表检查 U、V、W 之间的阻值，三相平衡。接下来，检查输出端各相对直流的正负极时，发现 U 对正极正反都不通，怀疑 U 相 IGBT 有问题，拆下来检查，果然是 IGBT 坏了。

驱动电路中的上桥臂控制电路三组特性一致，下桥臂控制电路三组特性一致，采用对比方法检查发现 Q1 损坏。更换 Q1 后，触发脚阻值各组一致，上电确认 PWM 波形正确。重新组装，上电测试正常。

（2）有一台变频器，面板显示正常，数字设定频率及运转正常，但是端子控制失灵。

用万用表检查端子无 10V 电压。从开关电源入手，各组电源都正常，看来问题出在连接导线上。在没有图纸的前提下要从 32 根扁平电缆中找到 10V 的那条线确实要花点时间。此时利用一台完好的 22kW 变频器，先记下 22kW 连接扁平电缆的各脚对地电压，然后再对比 37kW 的各脚对地电压，很快就找到了差异。原来是插槽的引脚虚焊，重新焊好，故障排除。

加油站 3——备板置换检查法

利用备用的电路板或同型号的电路板来确认故障，可以缩小检查范围，这是一种行之有效的方法。

训练场 3——备板置换检查法检修变频器

三垦 MF 15kW 变频器确认控制板损坏，手头没有 15kW 的主控板，于是将一台主回路报废的 MF 2.2kW 的控制板换上，但是必须进行参数设定。首先打开参数 90，写入“7831”，确认后，变频器显示“PASS”，再确认，写入“28”（28 代表 15kW），再把参数恢复至出厂值（参数 36 写入 1），这样控制板就换完了，故障得以排除。

加油站 4——隔离检查法

有些故障常常难以判断发生在哪个区域，采取隔离的方法可以将复杂的问题简单化，较快地找出故障原因。

训练场 4——隔离检查法检修变频器

一台英泰变频器，现象是上电后无显示，并伴有“嘀、嘀”的声音。凭经验可断定开关电源过载，反馈保护起作用关断开关电源输出，并且再次起振再次关断而产生“嘀、嘀”声。

首先去掉控制面板，上电发现故障依旧，再逐个断开各组电源的二极管，最后发现风扇用的 15V 电源有问题。但是风扇并没有运转信号，不应该是风扇本身的问题，估计是风扇前端出现问题。拆掉 15V 滤波电容测量，该电容器已经老化。换上新的电容，故障排除。

加油站 5——直观检查法

直观检查法通过人的视觉、触觉、听觉及嗅觉来对机器的外表及内部的元器件、接线等进

行直观的检查，这是一种简单且行之有效的方法，应该经常使用并且首先采用。

"先外再内"的维修原则要求维修人员在遇到故障时应该先采用望、闻、问、摸的方法，由外向内逐一进行检查。有些故障采用直观法可以迅速找到原因，否则会浪费不少时间，甚至无从下手。利用视觉可以观察线路元件的连接是否松动、断线，接触器触点是否烧蚀，压力是否正常，发热元件是否过热变色，电解电容是否膨胀变形，耐压元件是否有明显的击穿点。上电后闻一闻是否有焦糊的味道，用手摸发热元件是否烫手。询问用户故障发生的过程，有助于分析问题的原因，有时问一问同行也是一种捷径。

训练场 5——直观检查法检修变频器

一台三垦 IP 55kW 变频器上电无显示。打开机盖，仔细观察各个部分，发现充电电阻烧坏，接触器线圈烧断而且外壳焦糊。经过询问，原来用户电源电压低，变频器常常因为欠压停机，就专门给变频器配了一个升压器。但是用户并没有注意到在夜间电压会恢复正常，结果首先烧坏接触器然后烧坏充电电阻。由于整流桥和电解电容耐压相对较高因而幸免于难。更换损坏的器件，故障排除。

加油站 6——升降温检查法

有时，变频器工作较长时间，或在夏季工作环境温度较高时会出现故障，关机检查正常，停一段时间再开机也正常，过一会儿又出现故障。这种现象是由于个别元器件性能差，高温特性参数达不到指标要求所致。为了找出故障原因，可采用升降温检查法。

升降温检查法就是人为地给一些温度特性较差的元件加温或降温，让其产生"病症"或消除"病症"，以此来查找故障原因。

所谓降温，就是在故障出现时，用棉签蘸无水酒精在可能出故障的部位抹擦，使其降温，观察故障是否消除；所谓升温，就是人为地将环境温度升高，比如用电烙铁靠近有疑点的部位（注意切不可将温度升得太高，以致损坏正常器件），试看故障是否出现。

训练场 6——升降温检查法检修变频器

有一台英泰变频器，用户反映该变频器经常出现参数初始化停机，一般重新设定参数 20～30min 后故障重现。经分析该故障与温度有关，因为运行到这个时间后变频器温度会升高。用热风焊台加热热敏电阻，当加热到风扇启动的温度时，观察到控制面板的 LED 忽然掉电，然后又亮起来接下来忽明忽暗地闪动，拿走热风 30s 后控制板的 LED 不再闪动，而是正常地显示。采用隔离法拔掉风扇的插头，再次加温进行试验，故障消除。

经检查，风扇已经短路。原来是温度升高以后，控制板给出风扇运转信号，而短路的风扇造成开关电源过载关闭输出，控制板迅速失电而参数存储错误，造成参数复位。换掉风扇，故障排除。

加油站 7——破坏检查法

破坏检查法就是采取某种技术手段，取消内部保护措施，模拟故障条件而人为破坏有问题

的器件，令有故障的器件或区域显现出来。

采用这种方法要有十分的把握来控制事态的发展，也就是维修者心里要明了最严重的破坏程度是什么状态，能否接受最严重的进一步损坏，并且有控制手段，避免更严重的破坏。

训练场 7——破坏检查法检修变频器

一台变频器的开关电源出现故障，开机时保护回路动作，估计是变压器输出端有短路支路，但是静态无法测量出故障点。决定利用破坏检查法来找到故障器件。首先断开保护回路的反馈信号，令其失去保护功能，然后接通直流电源，利用调压器从 0V 慢慢升高直流电压，观察相关器件。发现有烟冒出，立刻关掉电源，同时利用电阻短路直流滤波电容迅速放电。发现冒烟的是风扇电源的整流二极管，原来风扇已经短路性损坏，而该风扇的控制开关信号一直为开状态（因为器件短路造成高电平，始终为开状态），只要开关电源输出正常电压，风扇就短路风扇电源，造成开关电源保护。而在静态测量时，又测不到风扇的短路状态。更换整流二极管和风扇电动机，故障排除。

加油站 8——敲击检查法

变频器的各个电路板都有很多焊点，若有任何虚焊和接触不良均会出现故障。敲击检查法就是用起子柄、橡胶、木槌等工具轻轻敲击电路板上的某一处，观察出现的情况来判定故障部位（注意，高压部位一般不要敲击）。该方法尤其适合检查虚假焊和接触不良故障。

训练场 8——敲击检查法检修变频器

某变频器正常运行了 3 年多，在没有任何征兆的情况下忽然停机，而且没有任何故障信息显示，启动后会时转时停。仔细观察，没有发现任何异常，静态测量也未发现问题。上电后，敲击变频器的壳体，发现运行信号会随着敲击产生变化。经检查发现外部端子 FR 接线端螺钉松动，而且运行信号线端没有压接 U 形端子，直接连接在端子上，接线处压到了导线的线皮，导致螺钉由于振动松动后，控制线与端子虚连。重新压接 U 形端子，拧紧螺钉，故障排除。

加油站 9——刷洗检查法

一些特殊的故障，时有时无，若隐若现，维修者常常无法判断和处理。这时可以用无水酒精清洗电路板，同时用软毛刷刷去电路板上的灰尘、锈迹，尤其要注意焊点密集的地方，然后用热风吹干。往往会达到意想不到的效果，至少有助于观察法的应用。

训练场 9——刷洗检查法检修变频器

某变频器出现无显示故障，经过初步检测，整流部分及逆变部分完好，所以通电检查。直流母线电压正常，但是开关电源控制芯片 3844 的启动电压只有 2V。分压电阻的阻值在线检测

小很多，离线检测正常。采用刷洗法处理后，故障排除。

加油站 10——原理分析检查法

原理分析是故障排除的最根本方法，其他检查方法难以奏效时，可以从电路的基本原理出发，一步一步进行检查，最终查出故障原因。运用这种方法必须对电路的原理有清楚的了解，掌握各个时刻各点的逻辑电平和特征参数（如电压值、波形），然后用万用表、示波器测量，并与正常情况相比较，分析判断故障原因，缩小故障范围，直至找到故障。

例如，一台变频器同时失去充电电阻短路继电器、风扇运转、变频器状态继电器信号。经过对比试验，证实问题出在控制板。经过分析，问题可能出在锁存器上，因为这些信号都由这个芯片控制。更换锁存器后，故障排除。

指点迷津

总地来说，对故障变频器的检查要从外到内，由表及里，由静态到动态，由主回路到控制回路。以下三个检查一般是必须进行的。

（1）用万用表检测输入端子分别对直流正极和负极的二极管特性与三相平衡特性。这一步可以断定整流桥的好坏。

（2）用万用表检测输出端子分别对直流正极和负极的二极管特性与三相平衡特性。这一步可以初步断定逆变模块的好坏，从而决定是否可以空载输出。如果出现相间短路或不平衡状态，就不能空载输出。

（3）如果上面两步没有发现问题，可以打开机壳，清除灰尘，认真观察变频器内部有无破损，是否有焦黑的部件，电容是否漏液等。

8.3 变频器常见故障检修

8.3.1 参数设置类故障的检修

常用变频器在使用中，是否能满足传动系统的要求，变频器的参数设置非常重要，如果参数设置不正确，将会导致变频器不能正常工作。

加油站——变频器参数设置的主要内容

常用变频器一般在出厂时，厂家对每一个参数都有一个默认值，这些参数值叫工厂值。此时，用户能以面板操作方式正常运行，但以面板操作并不能满足大多数传动系统的要求。所以，用户在正确使用变频器之前，要重新设置或修改参数，主要包括以下几个方面。

（1）确认电动机参数，在变频器电动机参数中设定电动机的功率、电流、电压、转速、最大频率，这些参数应与电动机铭牌中的数据一致。

（2）设置变频器的控制方式，主要包括速度控制、转距控制、PID 控制或其他方式。每一种控制方式都对应一组数据范围的设定。如果这些数据设定不正确，可能引起变频器不工作或

工作不正常，或者发生故障保护动作而跳闸，并显示故障代码。

（3）设定变频器的启动方式。一般变频器在出厂时设定从面板启动，用户可以根据实际情况选择启动方式，如用面板、外部端子、通信方式等几种。

（4）给定信号的选择。一般变频器的频率给定可以有多种方式，如面板给定、外部给定、外部电压或电流给定、通信方式给定。当然，对于变频器的频率给定，可以是这几种方式的一种，也可以是几种方式同时采用。

正确设置以上参数之后，变频器基本上能正常工作，若要获得更好的控制效果，则需要根据实际情况修改相关参数。

训练场——变频器参数设置类故障的处理

一旦发生参数设置类故障，变频器就不能正常运行，一般可根据说明书修改参数。否则，可将所有参数恢复为出厂值，然后再重新设置。

8.3.2 变频器过压类故障的检修

加油站——变频器过压类故障的类型

变频器的过电压集中表现在直流母线的支路电压上。正常情况下，变频器直流电为三相全波整流后的平均值。在过电压发生时，直流母线的储能电容将被充电，当电压上升至 760V 左右时，变频器过电压保护动作。因此，对于变频器来说，有一个正常的工作电压范围，当电压超过这个范围时很可能损坏变频器。

常见的过电压有两类，一类是输入交流电源过压，一类是发电类过电压。

训练场——变频器过压类故障的处理

1）输入交流电源过压

这种情况是指输入电压超过正常范围，一般发生在节假日负载较轻时，电压升高或降低而线路出现故障，此时最好断开电源，根据情况进行检查与处理。

2）发电类过电压

这种情况出现的概率较高，主要是电动机的同步转速比实际转速还高，使电动机处于发电状态，而变频器又没有安装制动单元，有以下两种情形可以引起这一故障。

（1）当变频器拖动大惯性负载时，由于其减速时间设置得比较小，在减速过程中，变频器输出的速度比较快，而负载靠本身阻力减速比较慢，使负载拖动电动机的转速比变频器输出频率所对应的转速还要高，电动机处于发电状态，而变频器没有能量回馈单元，因而变频器支路直流回路电压升高，超出保护值，出现故障。

处理这种故障的方法是增加再生制动单元，或者修改变频器参数，将变频器减速时间设置得长一些。增加再生制动单元功能包括能量消耗型、并联直流母线吸收型、能量回馈型。能量

消耗型在变频器直流回路中并联一个制动电阻，通过检测直流母线电压来控制功率管的通断。并联直流母线吸收型使用于多电动机传动系统，这种系统往往有一台或几台电动机经常工作于发电状态，产生再生能量，这些能量通过并联母线被处于电动状态的电动机吸收。能量回馈型的变频器网侧变流器是可逆的，当有再生能量产生时可逆变流器就将再生能量回馈给电网。

（2）多个电动机施动同一个负载时，也可能出现这一故障，主要是由于没有负荷分配引起的。以两台电动机拖动一个负载为例，当一台电动机的实际转速大于另一台电动机的同步转速时，转速高的电动机相当于原动机，转速低的电动机处于发电状态，引起该故障。

例如，一台台安 N2 系列 3.7kW 变频器在停机时跳“OU”。维修之前，首先要搞清楚“OU”报警的原因何在，这是因为变频器在减速时，电动机转子绕组切割旋转磁场的速度加快，转子的电动势和电流增大，使电动机处于发电状态，回馈的能量通过逆变环节中与大功率开关管并联的二极管流向直流环节，使直流母线电压升高所致。所以应该着重检查制动回路，测量放电电阻没有问题，在测量制动管（ET191）时发现已击穿，更换新的后上电运行，且快速停车都没有问题。

指点迷津

过电压报警一般出现在停机时，其主要原因是减速时间太短或制动电阻及制动单元有问题。

中转站——变频器欠压故障

变频器欠压也是经常碰到的问题。主要是由于主回路电压太低（220V 系列低于 200V，380V 系列低于 400V）所致。主要原因为整流桥某一路损坏或晶闸管三路中有工作不正常的，导致欠压故障的出现，其次是主回路接触器损坏，导致直流母线电压损耗在充电电阻上，产生欠压，还有就是电压检测电路发生故障而出现欠压问题。

8.3.3　变频器过流类故障的检修

加油站——变频器过流类故障的类型

过流故障可分为加速、减速、恒速过电流。过流故障可能是由于变频器的加减速时间太短、负载发生突变、负荷分配不均、输出短路等原因引起的。

训练场——变频器过流类故障的处理

变频器过流类故障的处理方法是延长加减速时间、减少负荷的突变、外加能耗制动元件、进行负荷分配设计、对线路进行检查。如果断开负载变频器还是有过流故障，说明变频器逆变电路已损坏，需要进行检修。

例如，一台 LG-IS3-4 3.7kW 变频器一启动就跳“OC”。打开机盖没有发现任何烧坏的迹

象，在线测量 IGBT（7MBR25NF-120）基本判断没有问题，为进一步查找问题，将 IGBT 拆下后测量 7 个单元的大功率晶体管开通与关闭都很好。在测量上半桥的驱动电路时发现有一路与其他两路有明显区别，经仔细检查发现一只光耦 A3120 输出脚与电源负极短路，更换后三路基本一样。装上模块上电运行一切良好。

又如，一台 BELTRO-VERT 2.2kW 变频器通电就跳“OC”且不能复位。首先检查逆变模块没有发现问题。其次检查驱动电路也没有异常现象，估计问题不在这一块，可能出在过流信号处理这一部分，将该电路传感器拆掉后上电，显示一切正常，故认为传感器已坏，找一新品换上后带负载试验，一切正常。

指点迷津

过流是变频器报警最为频繁的现象。其故障现象如下：

（1）重新启动时，一升速就跳闸。这是过电流十分严重的现象，主要原因有：负载短路，机械部位卡住；逆变模块损坏；电动机的转矩过小等。

（2）上电就跳。这种现象一般不能复位，主要原因有：模块坏，驱动电路坏，电流检测电路坏。

（3）重新启动时并不立即跳闸而是在加速时跳闸，主要原因有：加速时间设置太短，电流上限值设置太小，转矩补偿（V/F）设定较高。

8.3.4 变频器过载类故障的检修

加油站——变频器过载类故障的类型

过载类故障包括变频过载和电动机过载。其可能是由加速时间太短、直流制动量过大、电网电压太低、负载过重等原因引起的。

一般来讲，电动机由于过载能力较强，只要变频器参数表的电动机参数设置得当，通常不大会出现电动机过载。而变频器本身由于过载能力较差，很容易出现过载报警。可以检测变频器输出电压、电流检测电路等故障易发点来一一排除故障。

训练场——变频器过载类故障的处理

过载类故障一般可通过延长加速时间、延长制动时间、检查电网电压、重新设置参数等方法处理。负载过重，则所选的电动机和变频器不能拖动该负载，也可能是由于机械润滑不好引起的。若为前者，则必须更换大功率的电动机和变频器；若为后者，则要对生产机械进行检修。

例如，一台 LG IH 55kW 变频器在运行时经常跳“OL”。据用户反映这台机器原来是用在 37kW 的电动机上的，现在改用在 55kW 的电动机上，参数也没有重新设置过，所以问题有可能出在参数上。经检查变频电流极限设置值为 37kW 电动机的额定电流，则重新设置参数后带负载一切正常。